

В СТК ДОСААФ

ТРАНЗИСТОРНЫЙ ПЕРЕДАТЧИК НА 144—146 МГц

Л. Кузьминов *(г. Бахчисарай)*

Передатчик предназначен для работы с амплитудной модуляцией и телеграфом в полевых и стационарных условиях. Его номинальная выходная мощность составляет 5 Вт при напряжении питания 24 В. Выходной каскад рассчитан на подключение коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 75 Ом.

При работе на прием передатчик полностью выключается. Это особенно важно в полевых условиях, когда нет резерва в питании радиоаппаратуры. Время готовности передатчика к работе при переходе на передачу — 1—1,5 с.

Габариты передатчика 290 × 225 × 60 мм, масса — 3,2 кг.

Структурная схема передатчика представлена на рис. 1, принципиальная — на рис. 2.

Передатчик собран на 15 транзисторах и 10 диодах, он содержит 6 высокочастотных каскадов. Выходная мощность 5 Вт получена последовательным усилением с одновременным умножением частоты. Это дало возможность добиться устойчивого коэффициента усиления по мощности и в то же время хорошей развязки высокочастотных каскадов. Все транзисторы для получения наибольшего усиления по мощности включены по схеме с общим эмиттером.

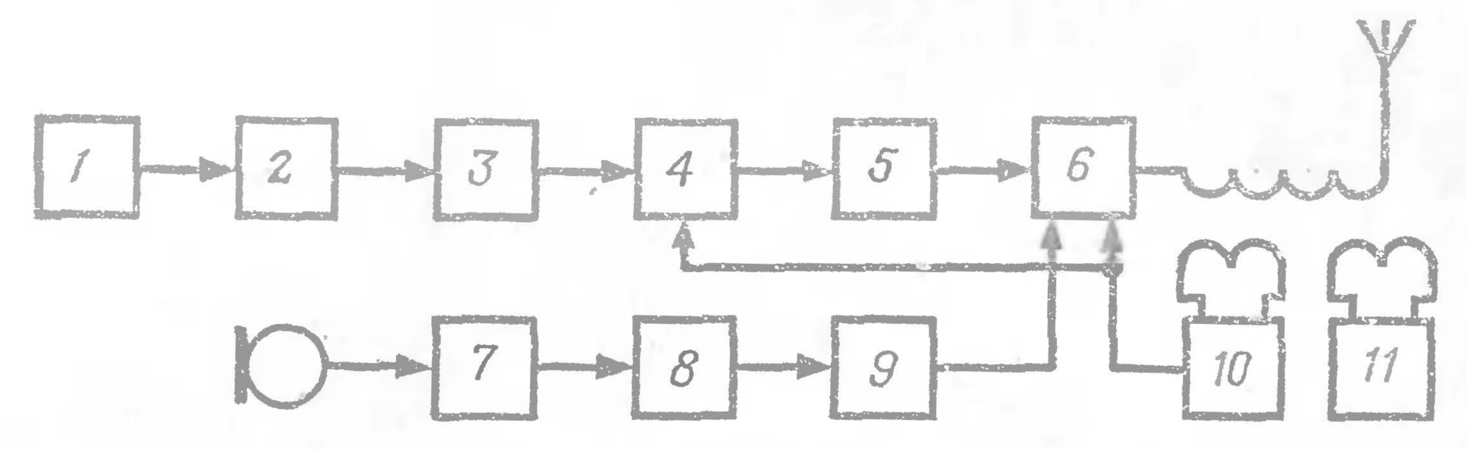


Рис. 1. Структурная схема передатчика: *1* — кварцевый генератор; *2*, *3*, *5* — умножители частоты; *4* — усилитель ВЧ; *6* — выходной каскад; *7*, *9* — усилители НЧ; *8* — фильтр НЧ; *10* — устройство защиты от перегрузок; *11* — измеритель выхода

Задающий кварцевый генератор собран на транзисторе *Т1* по схеме емкостной «трехточки» с кварцевым резонатором *Пэ1*, включенным между коллектором и базой. При таком включении добротность резонатора понижается незначительно. Применение маломощного транзистора и минимальное шунтирование кварцевого резонатора важно для получения стабильной частоты задающего генератора. Контур генератора *L1C3* настроен на основную частоту кварца и должен иметь для создания необходимых фазовых соотношений емкостное сопротивление.

Мощность, отдаваемая кварцевым генератором, для повышения стабильности частоты выбрана небольшой — 10—15 мВт.

Кварц на 12 МГц может быть заменен более распространенным кварцем на 4 МГц, возбуждаемым на третьей механической гармонике. В этом случае придется уменьшить емкость конденсатора *С1* примерно до 130 пФ.

На транзисторе *Т2* собран утроитель частоты, коллекторный контур *L3C5* которого настроен на частоту 36 МГц.

Рис. 2. Принципиальная схема передатчика

Следующий каскад — удвоитель частоты на транзисторе *Т3*. В его коллекторном контуре *L5C7* выделяется сигнал с частотой 72 МГц. После удвоителя на 72 МГц включен усилитель, собранный на транзисторе *Т4*.

В целях устранения на выходе умножителей частоты первой гармоники и получения устойчивого усиления применены фильтры *L17C30* и *L18C31*, настроенные на частоты 12 и 36 МГц соответственно.

На транзисторе *Т5* собран удвоитель. В его коллекторном контуре *L9C11* выделяется сигнал с частотой 144 МГц. Выделенный сигнал далее поступает на выходной каскад — усилитель мощности, собранный на транзисторе *Т6*.

Выходной каскад модулируется по коллекторной цепи. Модулятор собран на 5 транзисторах и выполнен в отдельном блоке. В нем осуществлены коррекция полосы (500—3000 Гц) с помощью фильтра нижних частот и ограничение амплитуды. Эти меры позволяют получить глубокую модуляцию (коэффициент глубины модуляции не менее 0,75). Для получения большей глубины можно применить двойную коллекторную модуляцию за счет использования дополнительной обмотки на модуляционном трансформаторе *Тр2*.

В передатчике предусмотрена защита выходного каскада от перегрузок и обратной волны. Система защиты собрана на транзисторе *Т12* по схеме усилителя постоянного тока и порогового детектора. Применение этой системы повышает надежность передатчика и предохраняет от выхода из строя наиболее дефицитного и дорогостоящего транзистора КТ907А, к сожалению, не имеющего запаса по мощности и потому боящегося перегрузок.

Необходимость защиты обусловливается также тем, что транзистор *Т6* работает в режиме колебаний второго рода и его выход имеет нелинейную емкость. Поскольку нагрузка не всегда имеет чисто активный характер, возникающее перенапряжение от импульсов коллекторного тока может достигать пяти-семикратной величины напряжения коллекторного питания. Для защиты от перенапряжения между коллектором и корпусом установлена дополнительная диодная пороговая защита на диодах *Д9Д10*. Потребление полезной мощности этой цепочкой незначительно, зато надежность работы каскада резко возрастает.

На транзисторах *Т13—Т15* и микроамперметре *ИП1*

собран измеритель выхода. Катушки *L14—L16* выполнены на сердечниках Б22 из феррита 1500НМ2, *L17* и *L18* — на сердечниках СБ-12а. Данные катушек сведены в таблицу.

Обозначение по схеме	Число витков	Отвод (снизу по схеме)	Провод	Шаг намотки, мм	Диаметр намотки (внутренний), мм
L1	20	—	ПЭВ-1 0,34	0,5	14
L2	4	—	ПСР 1,0	1,5	14
L3	9	3	ПСР 0,6	1,0	14
L4	3	—	ПСР 1,0	1,5	14
L5	5	3	ПСР 1,0	3	12
L6	3	—	ПСР 1,5	3	12
L7	5	4	ПСР 1,5	2	13
L8	3	—	ПСР 1,8	2	13
L9	3	2,5	ПСР 1,8	2,5	13
L10	2	—	ПСР 2,0	2,5	13
L11	3	—	ПСР 2,5	5	13
L12	10	—	ПЭВ-1 1,0	1	10
L13	7	—	ПСР 1,0	1	10
L14	1000	—	ПЭВ-1 0,14	Виток к витку	—
L15	350	—	ПЭВ-1 0,25	То же	—
L16	700	—	ПЭВ-1 0,14	»	—
L17	10	—	ПЭВ-1 0,25	»	—
L18	6	—	ПЭВ-1 0,25	»	»

Дроссели *Др1* и *Др2* намотаны проводом ПЭВ-1 0,25 на каркасах из полистирола диаметром 6 мм и содержат по 15 витков.

Трансформатор *Тр1* выполнен на сердечнике Ш5×12. Обмотка *I* содержит 1300 витков провода ПЭЛ 0,1, обмотка *II* — 2 × 300 витков провода ПЭЛ 0,14. Сердечник трансформатора *Тр2* — Ш15×21. Обмотка *I* содержит 2 × 45 витков провода ПЭВ-1 0,8, обмотка *II* — 100 витков провода ПЭВ-1 0,44.

Передатчик имеет блочно-модульную конструкцию. Транзисторы *Т1—Т5* смонтированы в отсеках шасси из латуни толщиной 1 мм. Остальные шасси изготовлены из алюминия толщиной 2 мм, передняя панель — из алюминия толщиной 5 мм. Каждый высокочастотный каскад на транзисторах *Т1—Т5* собран в виде отдельного модуля. Материалом для плат модулей является фольги-

рованный стеклотекстолит. На этих платах выполнены токонесущие дорожки прямоугольной формы (для уменьшения собственной индуктивности). Дорожки посеребрены. Это улучшает поверхностную проводимость. Проводимость также улучшена за счет большой ширины дорожек — 6—8 мм. Расстояние между соседними дорожками — 1,5—2 мм.

Контурные катушки кварцевого генератора и первого умножителя частоты (*L1* и *L2*) имеют ребристые каркасы. Катушки *L3*—*L13* — бескаркасные. Выходной каскад

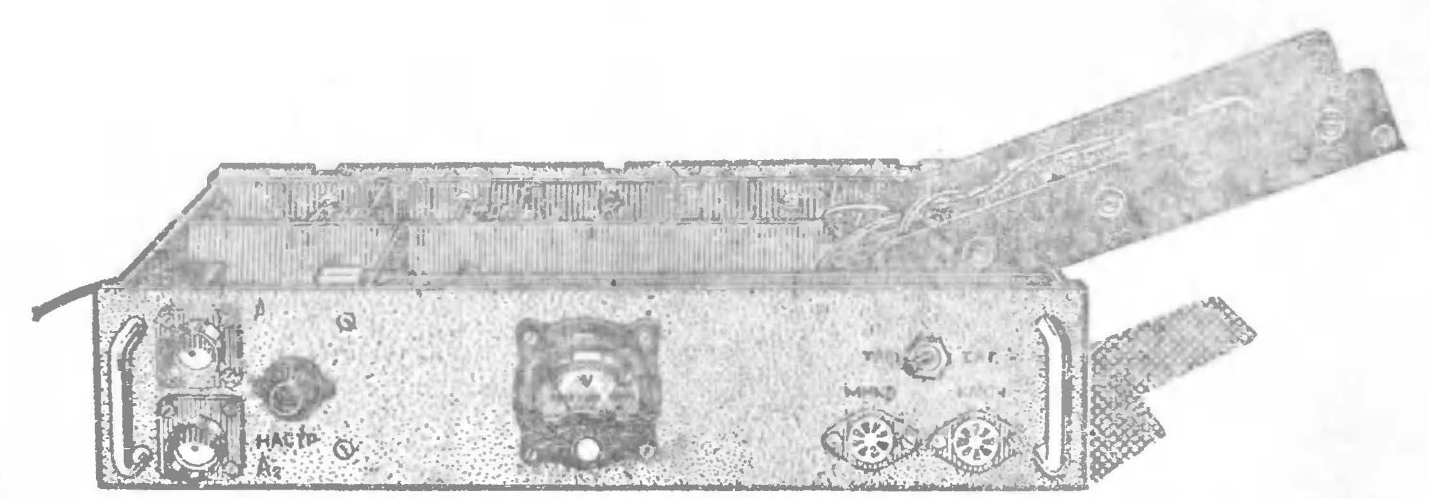


Рис. 3. Внешний вид передатчика (панель с транзисторами *T10*, *T11* откинута)

выполнен навесным монтажом. В отдельном отсеке передатчика смонтированы развязывающие фильтры цепей питания транзисторов *T1*—*T5*.

Внешний вид передатчика показан на рис. 3.

На рис. 4 приведены чертежи алюминиевых радиаторов транзисторов *T5*, *T6*. Для охлаждения транзисторов *T10* и *T11* применимы радиаторы практически любой конструкции подходящих размеров.

Реле можно использовать от радиостанции РСБ-5. Их контактные группы собраны на фарфоровых изоляторах. Подойдут реле и других типов (с подходящим током срабатывания), рассчитанные на коммутацию ВЧ сигналов.

Наиболее сложна в налаживании высокочастотная часть передатчика. Для налаживания используют ламповый вольтметр типа ВК7-9 и генераторы Г4-18 и Г4-44, ГМВ или им подобные. Налаживание начинают с кварцевого генератора. Подбирая режим транзистора, а также изменяя параметры контура *L1C3*, добиваются возбуждения кварца на основной частоте (или третьей механической гармонике — в случае применения кварца на 4 МГц). Возбуждение генератора возможно при настройке контура

выше резонансной частоты кварца (так чтобы сопротивление контура носило емкостный характер).

Затем коллекторный контур *L3C5* первого умножителя настраивают на необходимую частоту — 36 МГц, подавая на базу транзистора сигнал с частотой 36 МГц. Транзистор при этом работает в режиме усиления. После настройки коллекторного контура подают сигнал с частотой 12 МГц и подбирают оптимальный режим транзистора (по максимуму отдаваемого напряжения).

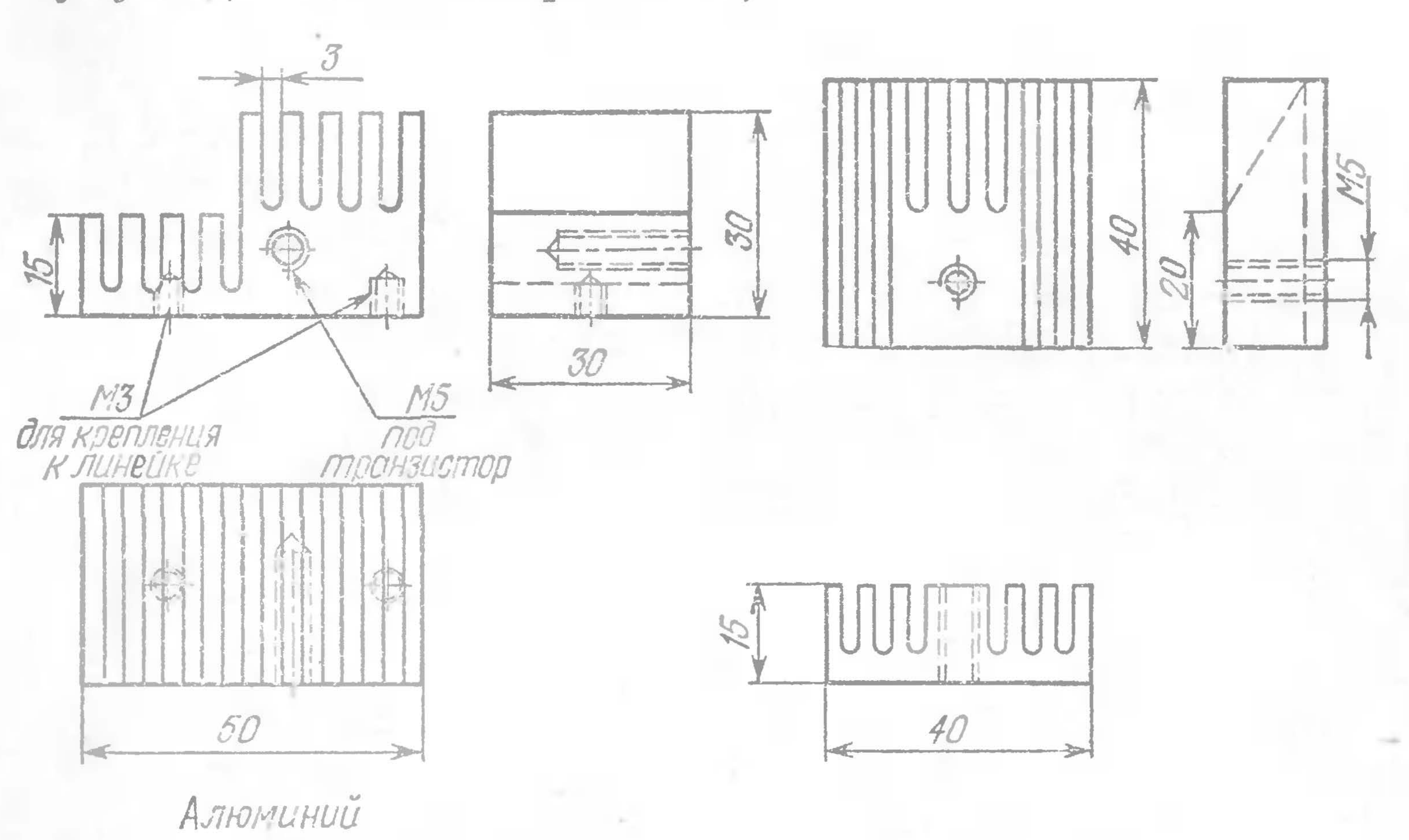


Рис. 4. Чертежи радиаторов: *слева* — для транзистора *T5*; *справа* — для транзистора *T6*

Фильтры *L17C30* и *L18C31* настраивают на 12 и 36 МГц, подключая ламповый вольтметр параллельно конденсатору контура.

Остальные умножители частоты настраивают аналогично.

Необходимо предостеречь: при паразитном самовозбуждении суммарное напряжение высокой частоты и постоянного тока может превысить предельно допустимое напряжение для многоэмиттерных транзисторов и вывести их из строя. Поэтому во время налаживания необходимо в цепь коллектора включать через балластный резистор варистор на напряжение срабатывания 27—50 В (в зависимости от типа транзистора). Это прежде всего касается выходного каскада, в коллекторной цепи которого действует

несколько напряжений (питания, высокочастотное, развиваемое на контуре модулирующего сигнала).

Систему защиты настраивают так. С помощью резистора *R34* устанавливают ток срабатывания выходного транзистора, равным 0,5—0,6 максимального значения. При этом вместо транзистора *T4* включают переменный проволочный резистор последовательно с миллиамперметром и устанавливают такой же ток, как и у отключенного транзистора. Параллельно включенным вольтметром контролируют напряжение на резисторе, которое должно быть таким же, как и на реальном транзисторе *T5*. Резистором *R38* подбирают уровень срабатывания системы по обратной волне. Датчиком обратной волны служит катушка *L13*, устанавливаемая на расстоянии 25—35 мм от выходного контура передатчика. Количество витков катушки датчика *L13* подбирают при настройке.

Налаживание остальных каскадов особенностей не имеет.

РАДИОЛЮБИТЕЛЮ-КОНСТРУКТОРУ

ТРАНЗИСТОРНЫЕ РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЕ МОДУЛИ

А. Гусев *(Москва)*

Одним из наиболее популярных направлений в радиолюбительском творчестве является конструирование аппаратуры для усиления звука. Многие конструкторы просто повторяют понравившиеся им известные схемы, другие же, творчески перерабатывая их, создают свои оригинальные конструкции. Тем не менее во всех упомянутых самодельных приборах, как впрочем и в заводских, можно увидеть много однотипных каскадов как по своему функциональному назначению, так и по построению схемы. Достаточно напомнить, что любой усилитель НЧ содержит предварительные каскады усиления, фазоинвертор (при двухтактном выходе), усилитель мощности и источник питания. Аналогичным образом можно увидеть и структурный состав других типовых устройств, предназначенных для самостоятельного изготовления. Задача радиолюбителя при создании новых конструкций сводится к рациональному построению схемы каждого каскада и разумному выбору (часто путем расчета) числа и назначения таких каскадов.

В результате предварительных расчетов и большой экспериментальной работы, проделанной конструктором А. Богатыревым, были найдены оптимальные варианты построения тракта усиления звука. Им было разработано несколько типовых каскадов транзисторного усилителя НЧ, в которых используются недорогие и недефицитные детали и в то же время обеспечиваются необходимые параметры.

Конструкции отдельных каскадов выполнены в виде законченных модулей и обладают хорошей повторяемостью в любительских условиях. Ниже приводятся описания

и схемы радиолюбительских модулей, которые могут быть использованы для создания усилителя НЧ, низкочастотной части радиоприемника, магнитофона или телевизора.

Микрофонный усилитель. Во многих случаях усилитель НЧ должен быть универсальным, то есть работать от различных источников сигнала: микрофона, звукоснимателя (электромагнитного и пьезоэлектрического), детекторного выхода радиоприемника, трансляционной линии и т. п.

В этом случае прежде всего на входе должен быть установлен микрофонный усилитель. Принципиальная

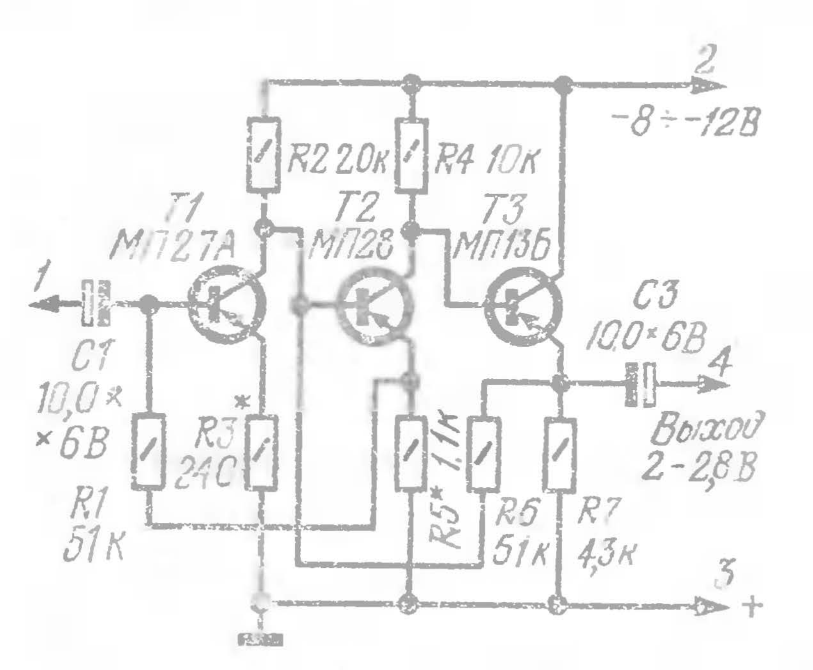


Рис. 1. Принципиальная схема модуля микрофонного усилителя

схема модуля микрофонного усилителя изображена на рис. 1. Усилитель собран по простейшей схеме с непосредственной (гальванической) связью между каскадами. Последнее обстоятельство позволяет получить относительно широкую полосу частот. Первые два каскада выполнены на транзисторах, рассчитанных на повышенное напряжение питания; работая с достаточно низким коллекторным напряжением (8—12 В), они обеспечивают малый уровень шума.

В целях улучшения параметров усилителя все каскады охвачены комбинированной системой отрицательной обратной связи. Отрицательная обратная связь в каждом каскаде обеспечивается тем, что резистор в цепи эмиттера не зашунтирован конденсатором. Смещение на базу первого каскада поступает с эмиттерного резистора второго каскада. Такая же схема подачи смещения выбрана и для второго каскада. Этим обеспечивается отрицательная обратная связь между каскадами, стабилизирующая режим работы усилителя, что значительно облегчает его налаживание.

Характерной особенностью описываемого усилителя

является то, что режимы работы всех транзисторов устанавливаются подбором двух резисторов *R3* и *R5*. При указанных на схеме номиналах элементов усилитель обеспечивает усиление порядка 1000 раз в полосе частот от 20 Гц до 20 кГц при коэффициенте гармоник (на частоте 1000 Гц) менее 1%. На рис. 2 показано расположение на плате элементов двух микрофонных усилителей, рассчитанных для использования в стереофонических усилителях или магнитофонах.

Усилитель для пьезозвукоснимателя. В качестве предварительного усилителя, источником сигнала для которого служит пьезоэлектрический звукосниматель или воспроизводящая магнитная головка, предназначается модуль (схема его изображена на рис. 3). В целях повышения входного сопротивления усилителя первый каскад собран на полевом транзисторе. Здесь может быть установлен любой полевой транзистор из серии КП 101—КП 103.

Второй каскад собран по схеме эмиттерного повторителя для согласования высокого выходного сопротивления первого каскада с низким входным сопротивлением следующего каскада. Между первым и вторым каскадами связь также выбрана непосредственной, что позволяет получить равномерную полосу усиления в широких пределах. Первый каскад не содержит элементов отрицательной обратной связи.

Последующие каскады для повышения стабильности их работы охвачены комбинированной обратной связью по току и напряжению. Так, например, смещение на базу транзистора *Т3* снимают с резистора *R12*, включенного в эмиттерную цепь транзистора *Т4*, и подают через резистор *R6*.

С выхода усилителя (резистора *R13*) снимается напряжение обратной связи и через конденсатор *С6* и резистор *R10* подается на базу транзистора *Т4*. Кроме этого, отрицательная обратная связь образуется за счет прохождения эмиттерного тока транзистора *Т4* по резистору *R12*. Связь между третьим и четвертым каскадами — непосредственная. На выходе предварительного усилителя в целях более универсальных возможностей согласования с последующими каскадами оконечного усилителя установлен эмиттерный повторитель.

Следует заметить, что в усилителе применены две частотнозависимые отрицательные обратные связи (*С5R8*

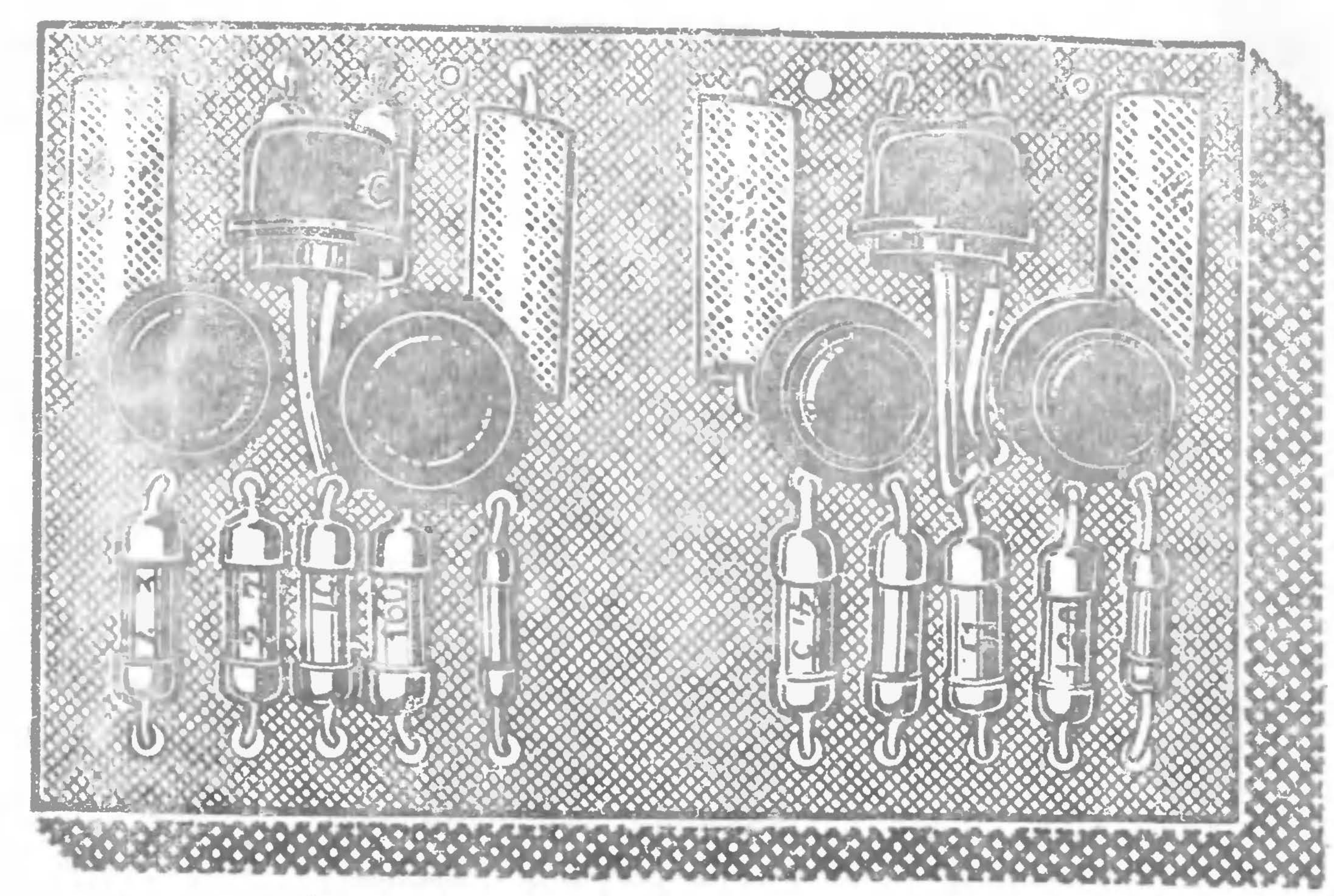


Рис. 2. Монтаж двух микрофонных усилителей

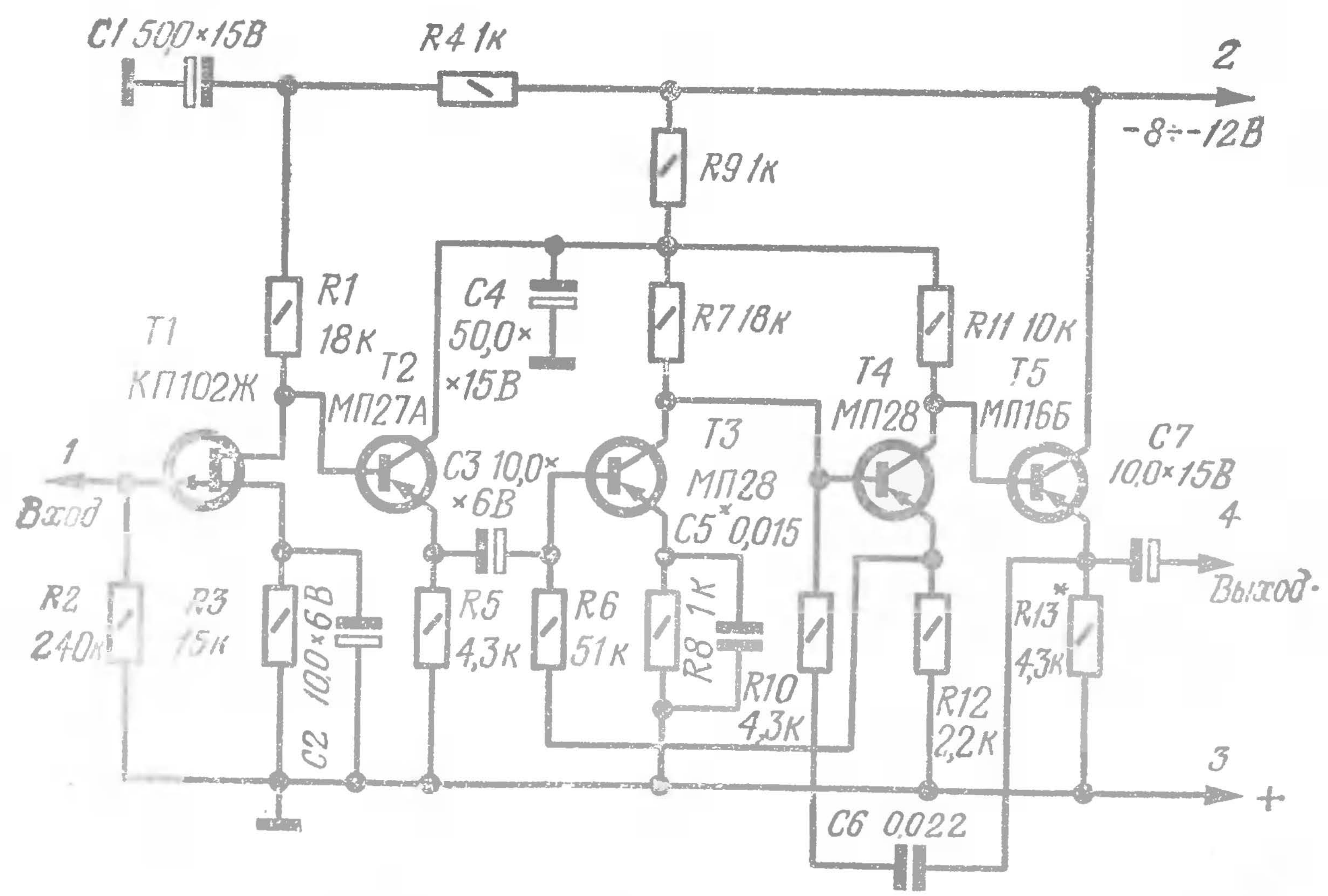


Рис. 3. Принципиальная схема предварительного усилителя

и *C6R10*). Это позволяет использовать его в качестве усилителя воспроизведения. Коррекция в области высоких частот обеспечивается цепочкой *C5R8*, посредством которой осуществляется подъем характеристики на частоте 15 кГц по отношению к 3,5 кГц на +15 дБ. В области низших частот коррекция осуществляется цепочкой *C6R10*. Подъем характеристики на частоте 31 Гц по отношению к 3,5 кГц равен +28 дБ.

При использовании усилителя для работы от пьезозвукоснимателя такой коррекции не требуется и эти цепи можно исключить совсем, произведя необходимые регулировки в блоке коррекции либо значительно изменив номиналы элементов в этом блоке.

Модуль обеспечивает ту же полосу, что и микрофонный усилитель, обладая уровнем шумов —65 дБ в интервале температур от —40 до +50° С. Этому обстоятельству в значительной мере способствует применение во входной цепи полевого транзистора и использование относительно высоковольтных транзисторов при пониженном напряжении питания.

Частотная характеристика усилителя (без цепей коррекции) в пределах 20 Гц — 20 кГц имеет неравномерность ±3 дБ, коэффициент гармоник на частоте 1000 Гц менее 1%. Напряжение звуковой частоты, получаемое на выходе усилителя, достаточно для возбуждения оконечного усилителя мощности, описание которого будет приведено дальше. Предварительный усилитель, так же как и микрофонный, монтируют на печатной плате из фольгированного гетинакса. Вид этой платы показан на рис. 4.

Усилитель коррекции предназначен для регулировки частотной характеристики всего усилительного тракта в необходимых пределах. В связи с тем, что при включении в тракт усиления ячеек регулировки общий уровень сигнала уменьшается, дополнительно вводят усилительные каскады. На рис. 5 приведена схема модуля усилителя коррекции, в котором предусмотрено дополнительное усиление. В большинстве конструкций регулировочные элементы (подстроечные или переменные резисторы) конструктивно расположены отдельно от основной платы усилителя, модуль собственно усилителя коррекции выполнен на отдельной плате, а сама ячейка коррекции располагается отдельно, вблизи регулировочных элементов. Кроме того, иногда может возникнуть необходимость

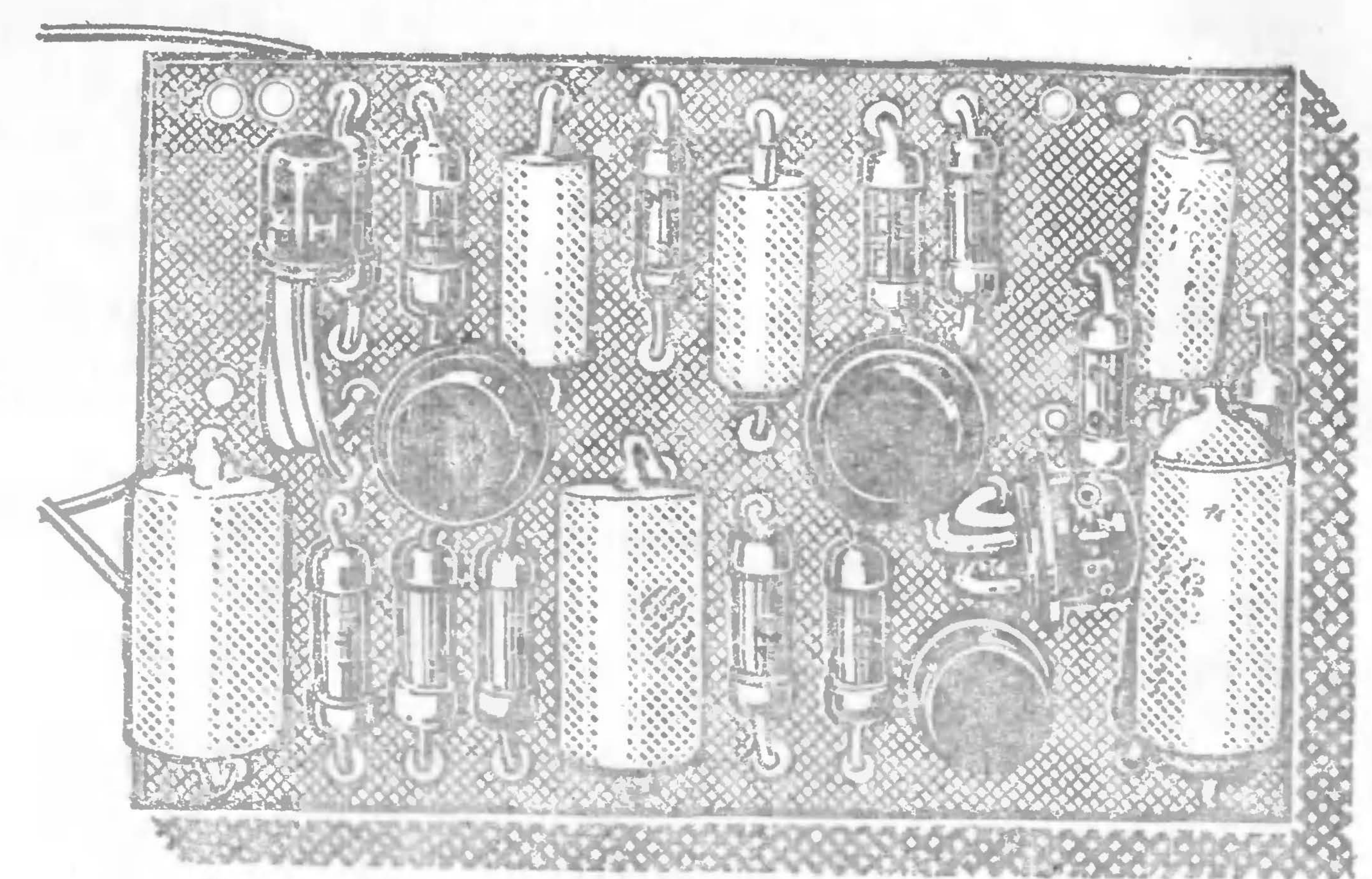


Рис. 4. Монтаж предварительного усилителя

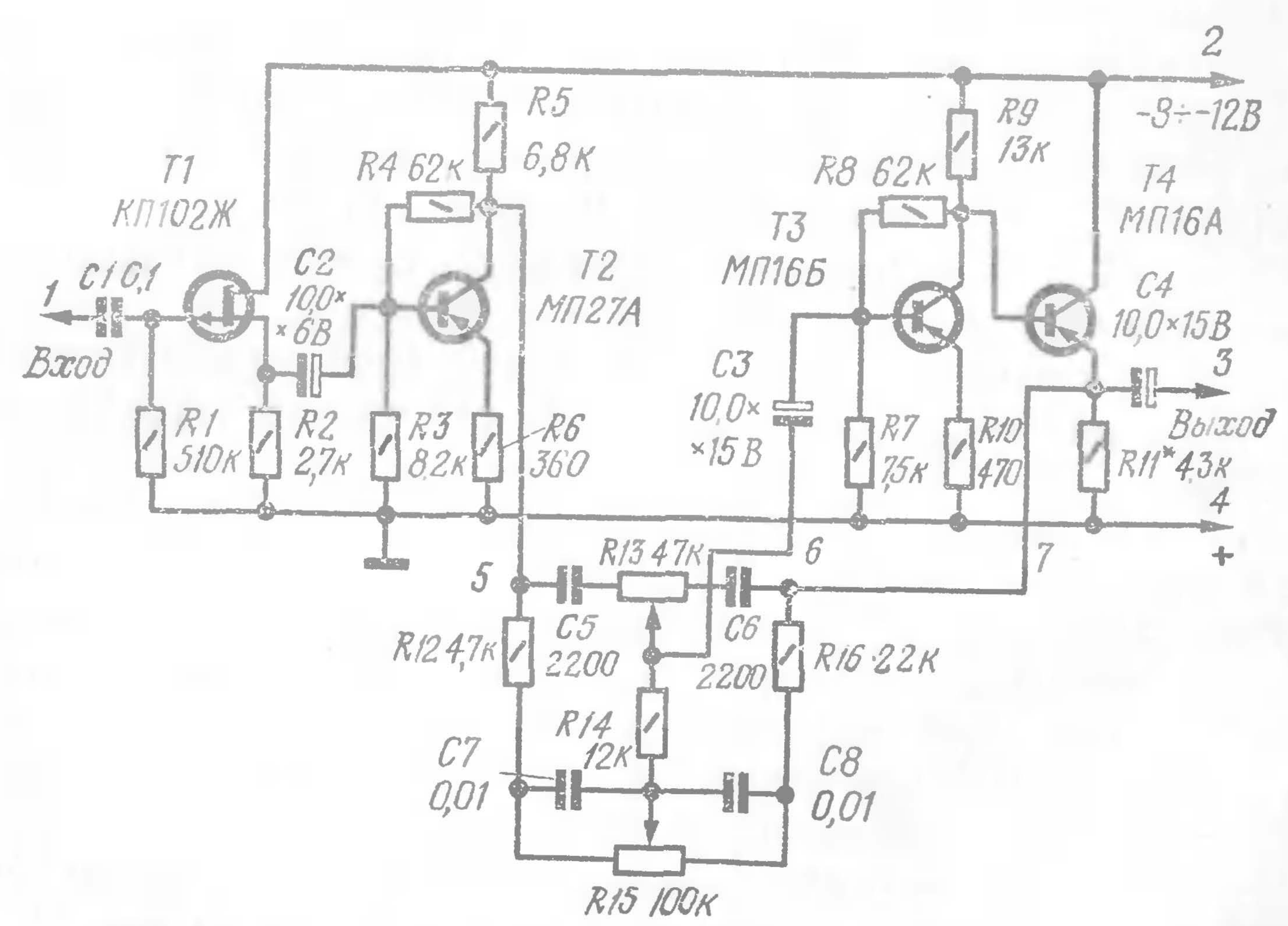


Рис. 5. Принципиальная схема усилителя коррекции

использовать другую схему коррекции сигнала, и при такой конструкции ее легко изменить. Усилитель коррекции при этом остается прежним.

Для получения большого входного сопротивления при малом уровне шумов на входе усилителя коррекции установлен истоковый повторитель на полевом транзисторе. Коэффициент усиления этого модуля — порядка 250, что обеспечивает непосредственную работу от пьезоэлектрического звукоснимателя без предварительного усиления. Перед усилителем коррекции удобно установить компенсированный регулятор громкости, схема которого приведена на рис. 6.

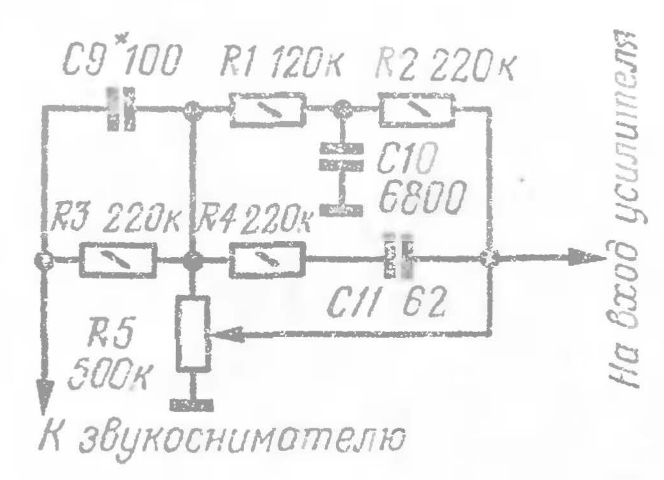


Рис. 6. Принципиальная схема компенсированного регулятора громкости

Сигнал от источника после компенсированного регулятора громкости и высокоомного эмиттерного повторителя (см. рис. 5) через конденсатор *С2* поступает на базу транзистора *Т2*. С резистора *R5* — нагрузки этого каскада — усиленное напряжение сигнала подается на ячейку регулировки тембра. Регулировка раздельная по высшим и низшим частотам. Благодаря тому, что ячейка включена в цепи отрицательной обратной связи, достигается довольно большая глубина регулировки. Так, на высших частотах, порядка 15 кГц, имеется возможность изменять частотную характеристику на ±12 дБ относительно среднего уровня, а на низших (60 Гц) регулировка осуществляется в пределах ±10 дБ.

После ячейки коррекции сигнал через конденсатор *С3* поступает на следующий каскад усиления, собранный на транзисторе *Т3*. На выходе усилителя включен транзистор *Т4* по схеме эмиттерного повторителя. Такое построение схемы значительно повышает устойчивость работы усилителя и обеспечивает хорошее согласование со следующими каскадами усилителя мощности.

Усилитель мощности, принципиальная схема которого изображена на рис. 7, собран по обычной двухтактной

бестрансформаторной схеме. Этот усилитель может быть использован для небольшого проигрывателя, магнитофона или транзисторного приемника. Выходная мощность усилителя — порядка 2 Вт. При желании создать стереофоническую установку следует собрать два идентичных выходных усилителя мощности. Усилитель прост и очень надежен в работе. Единственным его недостатком является незначительная чувствительность по входу, и поэтому, например, использовать его непосредственно от звукоснимателя нельзя. В целях повышения качества работы усилитель охвачен отрицательной обратной связью, подаваемой с выхода усилителя на его вход через резистор *R8*. Каких-либо других особенностей усилитель не имеет. Налаживание его очень просто и сводится к подбору резистора в цепи обратной связи (по качеству звучания). Режимы усилителя устанавливают резисторами *R1*, *R3* и *R4*. Налаживание считают законченным, если напряжение на эмиттерах выходных транзисторов в режиме покоя будет равно половине напряжения питания, а предоконечные транзисторы будут работать в типовых режимах.

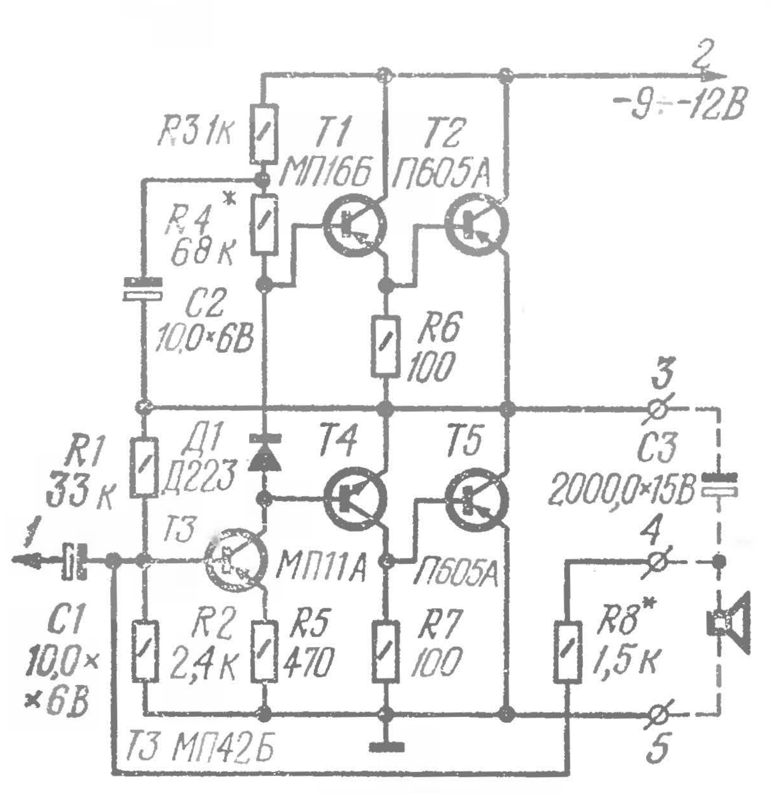


Рис. 7. Принципиальная схема простого усилителя мощности

Монтаж усилителя также несложен. Его выполняют на фольгированном гетинаксе печатным способом. Можно и не прибегать к печатному монтажу, сделав его навесным. Монтажная плата простого усилителя мощности показана на рис. 8. Нагрузкой усилителя служит громкоговоритель 4-ГД4 или ему подобный с сопротивлением звуковой катушки 8 Ом. Такой усилитель можно рекомендовать начинающим радиолюбителям. В сложных установках звукоусиления он может служить в качестве контрольного. При желании создать высококачественную звукоусилительную установку с выходной мощностью порядка 30 Вт в канале можно воспользоваться другой схемой выходного каскада.

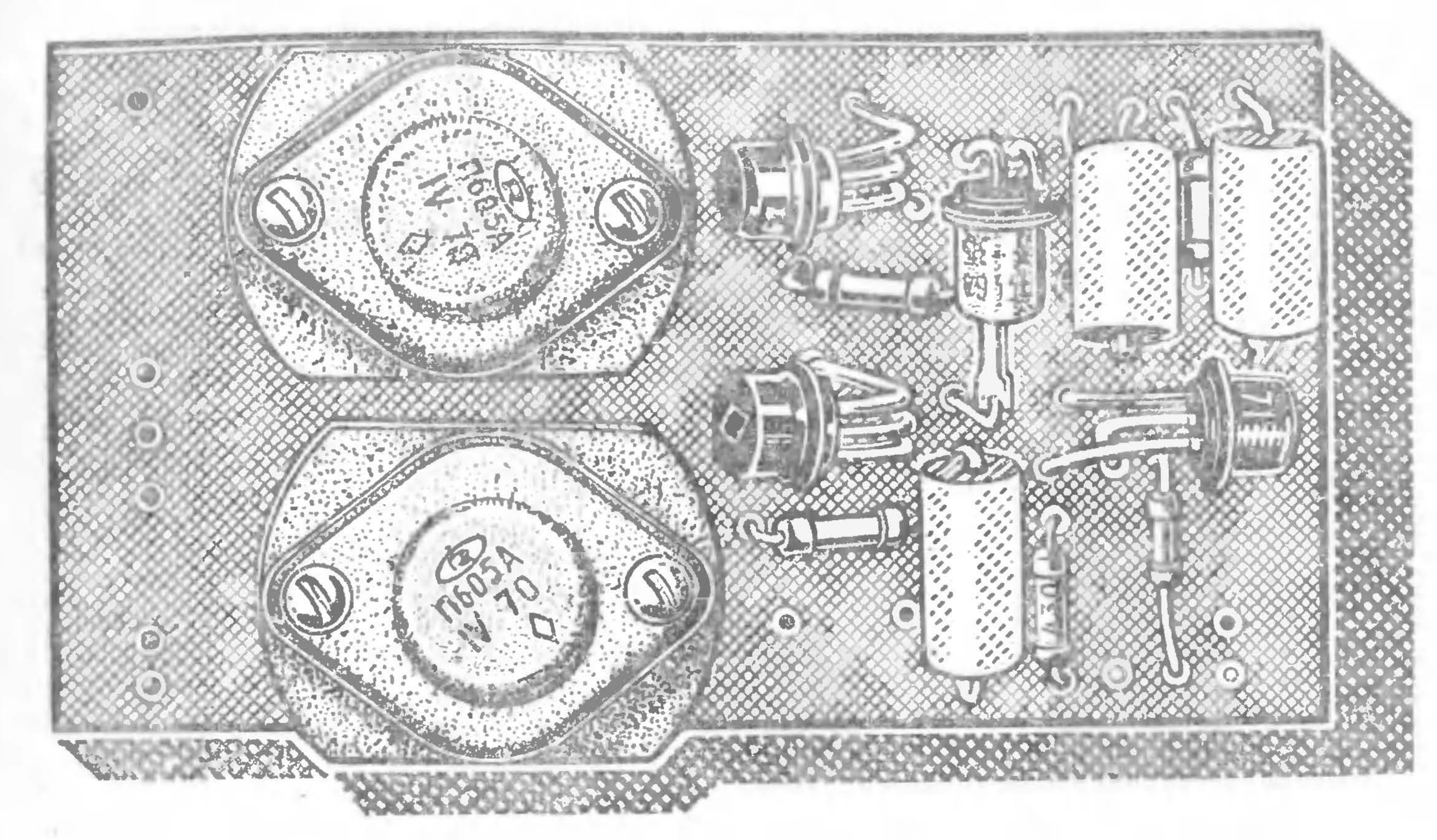


Рис. 8. Монтаж простого усилителя мощности

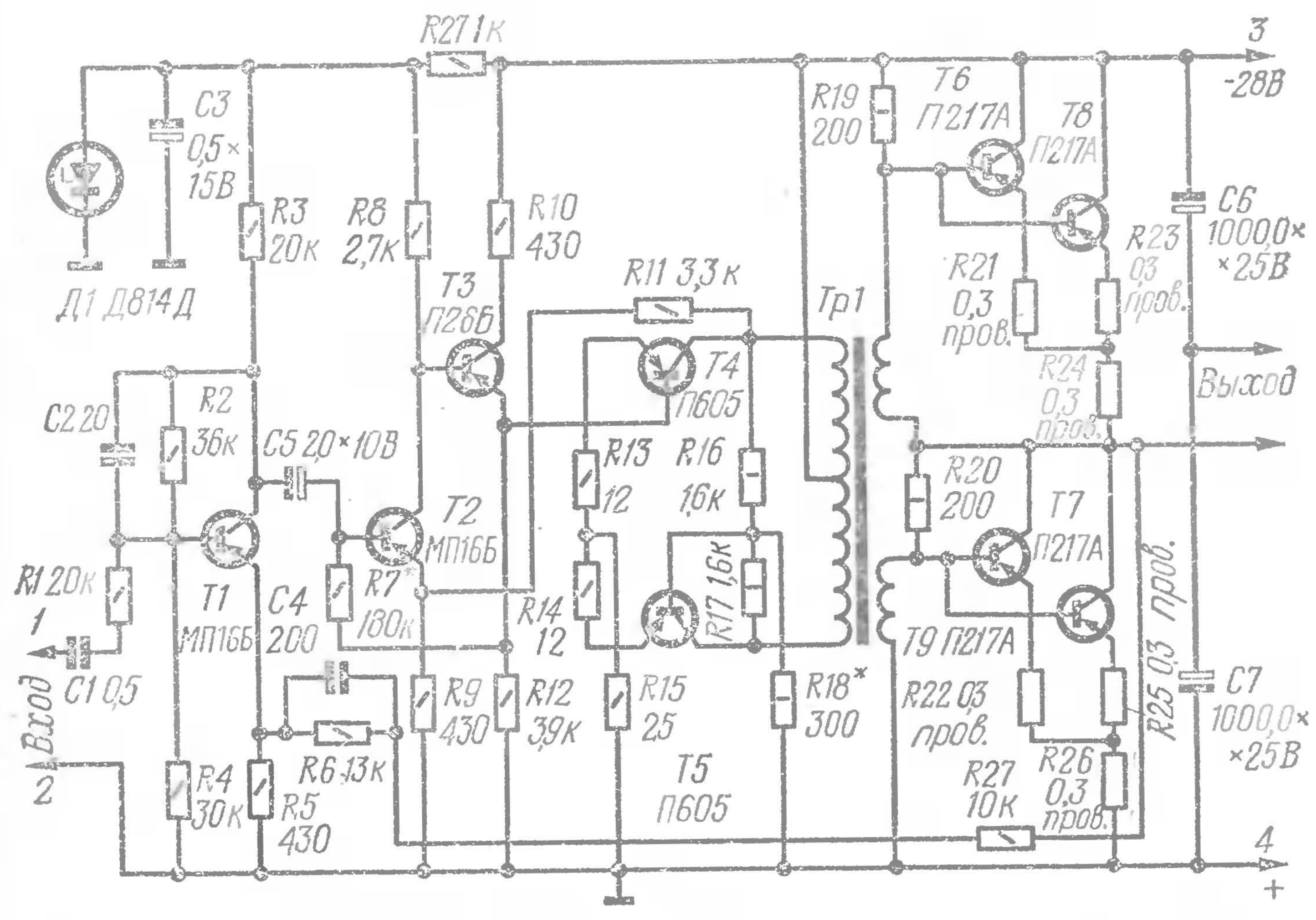


Рис. 9. Принципиальная схема сложного усилителя мощности

Мощный выходной каскад (схема его изображена на рис. 9) собран по комбинированной схеме: при бестрансформаторном выходе в усилителе есть переходной трансформатор. Такое построение схемы оправдывает себя в том случае, если нет двух достаточно мощных транзисторов с различной проводимостью. Однако частотные свойства трансформаторов, особенно небольших габаритов,

2 5—586

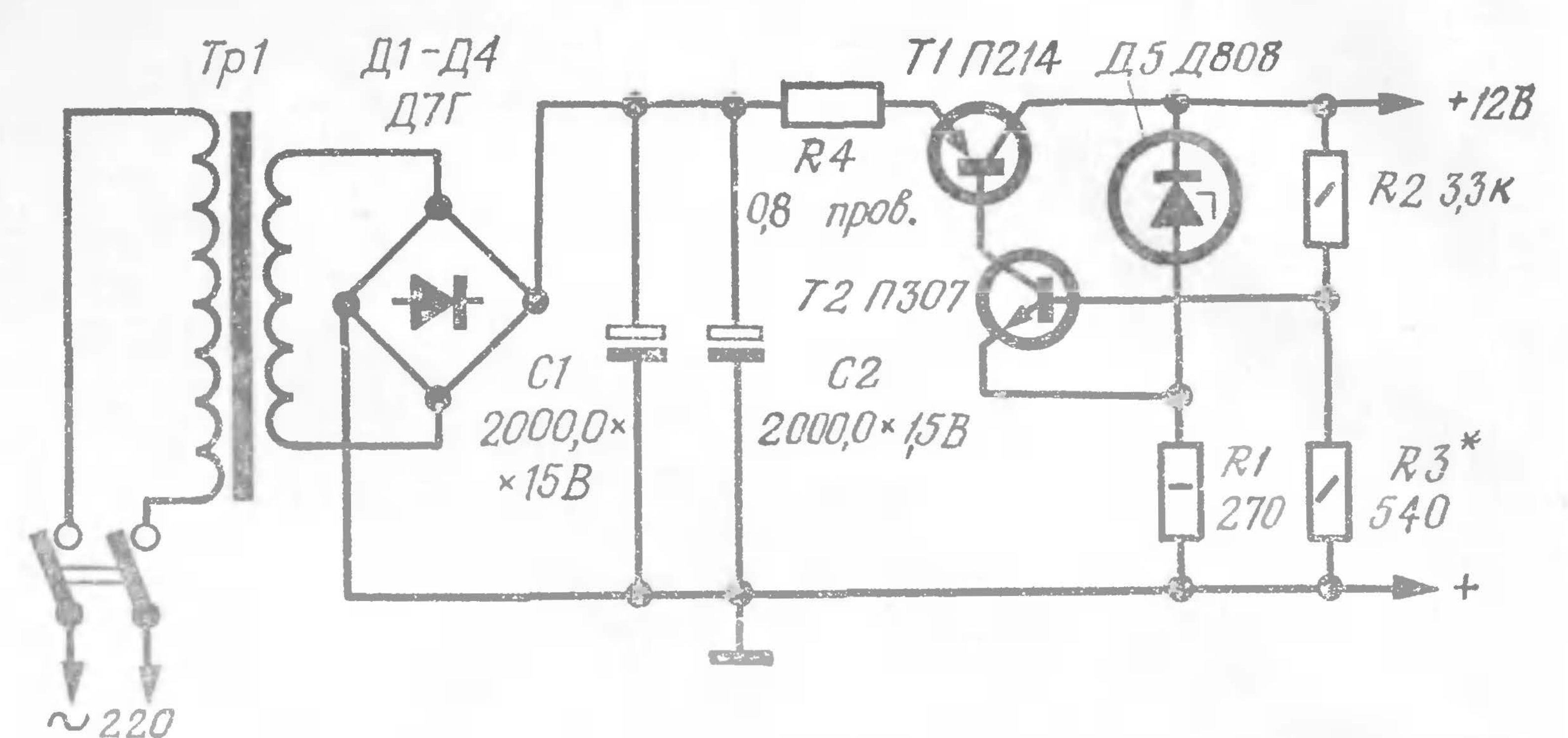


Рис. 10. Принципиальная схема выпрямителя с простым стабилизатором

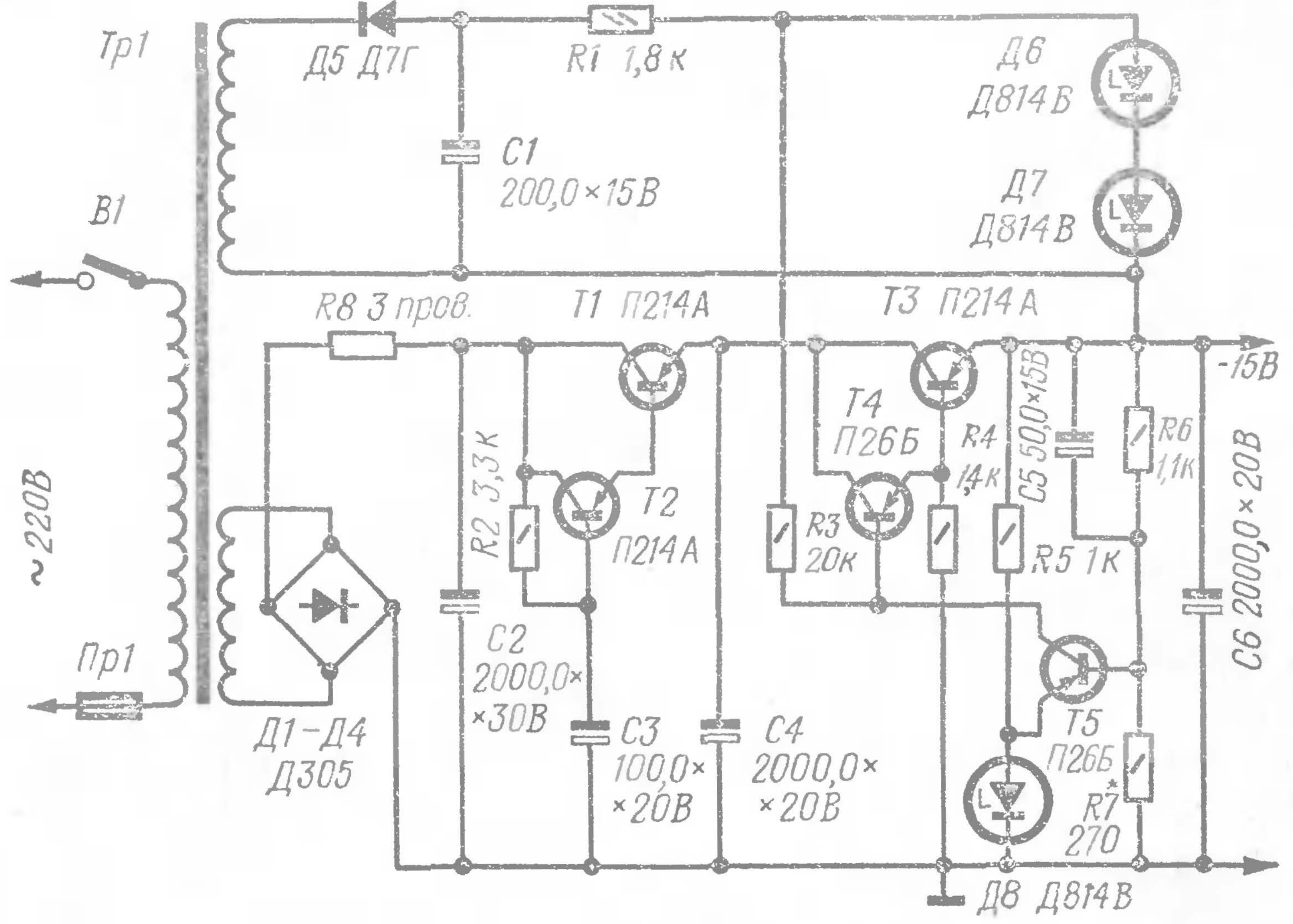


Рис. 11. Принципиальная схема выпрямителя со стабилизатором и защитой от перегрузок

не позволяют пропустить всю полосу усиливаемых частот. Поэтому при создании особо высококачественных установок желательно перед выходным каскадом сигнал по частоте разделить на две составляющих и каждую из них усиливать в своем оконечном каскаде с учетом требований в каждой полосе усиливаемых частот в отдельности.

При желании получить меньшую выходную мощность в выходном каскаде можно оставить только два транзистора П217А. Особенностью выходного каскада является еще и то, что выходные транзисторы по току используются не полностью. Это повышает стабильность и надежность их работы, а также в некоторой степени расширяет полосу пропускания. Транзисторы выходного каскада работают без начального смещения. Благодаря применению

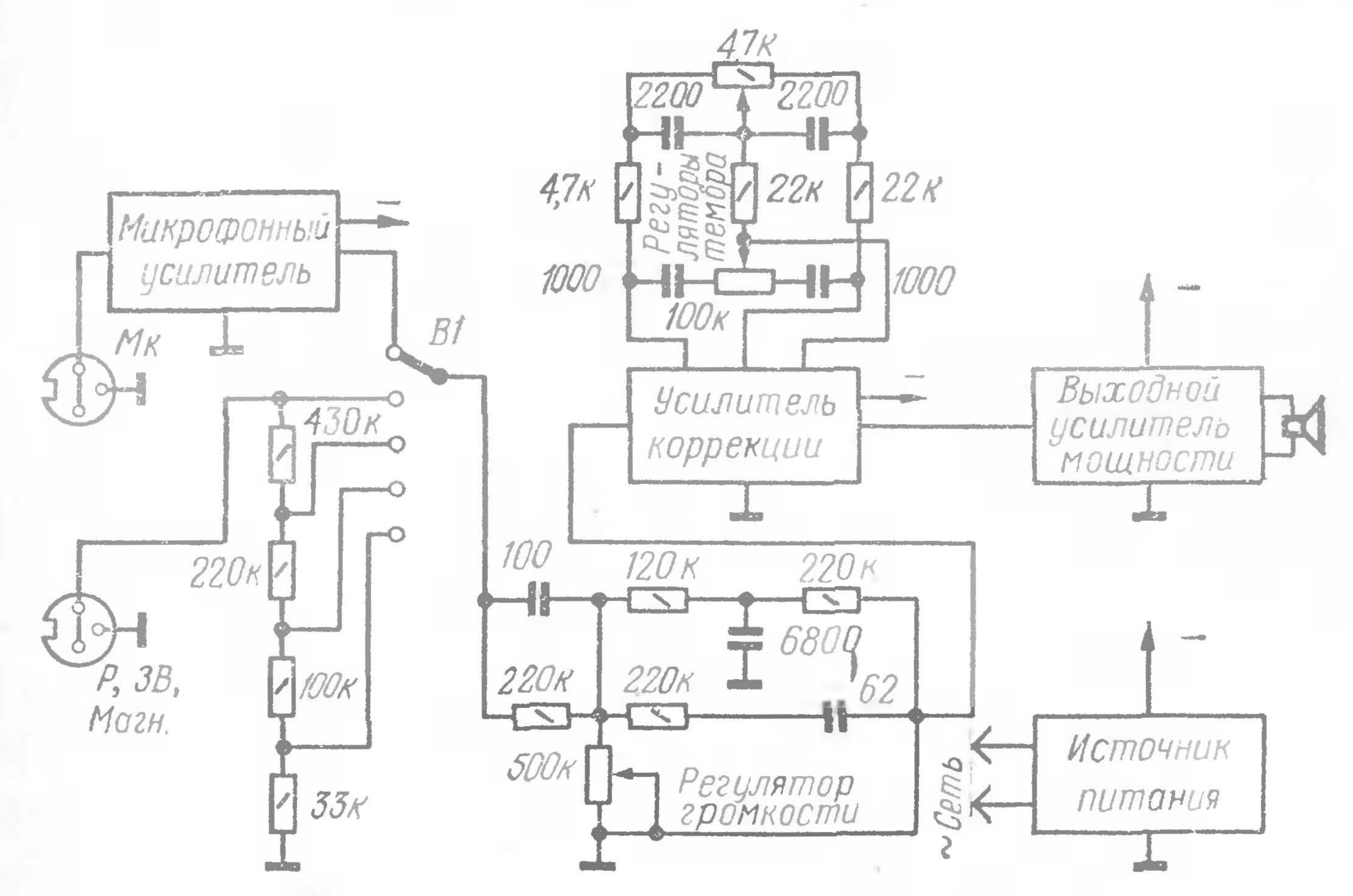


Рис. 12. Структурная схема универсального усилителя

фазовращающего трансформатора сопротивления в цепях баз очень малы.

Глубокая отрицательная обратная связь (36 дБ) позволяет значительно снизить нелинейные искажения и уменьшить выходное сопротивление усилителя до 0,1 Ом. Входное сопротивление его — порядка 300 кОм. К выходу усилителя можно подключить громкоговорители, полное сопротивление звуковой катушки которых лежит в пределах 2—8 Ом.

Для питания описанных каскадов были разработаны два стабилизированных выпрямителя.

Простейший выпрямитель со стабилизатором позволяет получить 12 В выпрямленного напряжения при токе порядка 2 А. Принципиальная схема выпрямителя изображена на рис. 10. Выпрямитель и стабилизатор особенностей не имеют и поэтому подробно не описываются.

Выпрямитель со стабилизатором и защитой от перегрузок и коротких замыканий развивает на выходе напряжение 15 В и обеспечивает более жесткую стабилизацию выходного напряжения по сравнению с простейшим выпрямителем. Принципиальная схема выпрямителя с защитой от перегрузок изображена на рис. 11.

Предлагаемые транзисторные модули позволяют конструировать различные усилители НЧ и проводить самые разнообразные радиолюбительские эксперименты. Транзисторы, используемые в описываемых модулях, могут иметь достаточно большой разброс параметров, что не сказывается на общих результатах работы. При желании, если применить малогабаритные детали, можно значительно уменьшить размеры модулей. В качестве примера на рис. 12 приведена структурная схема универсального радиолюбительского усилителя. Этот усилитель может быть использован для усиления речи (с модулем микрофонного усилителя), воспроизведения грамзаписи, работы совместно с магнитофоном, радиоприемником и пр.

ЛАБОРАТОРИЯ РАДИОЛЮБИТЕЛЯ

КОМПЛЕКТ ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ «ОБЬ-72»

А. Гороховский *(Москва)*

Отдел измерительной техники на 26-й Всесоюзной выставке творчества радиолюбителей-конструкторов ДОСААФ (июнь 1973 г., Москва) был одним из наиболее обширных по числу демонстрировавшихся экспонатов. Он привлекал внимание высоким мастерством исполнения и оригинальностью схемного и конструктивного решения многих измерительных приборов, использованием в большом числе экспонатов современной элементной базы — транзисторов, в том числе полевых, интегральных микросхем, микромодулей и др. Особый интерес вызывали приборы с цифровым отсчетом, которые закономерно завоевывают популярность у радиолюбителей.

Авторы многих конструкций шли по пути создания не отдельных приборов, а целых комплексов измерительных лабораторий. К таким экспонатам относится и комплект приборов «Обь-72», созданный новосибирским радиолюбителем А. С. Кузнецовым, который был награжден специальным призом выставки.

В комплект входят: широкодиапазонный генератор дискретных частот; цифровой прибор для измерения периодов низкочастотных колебаний, интервалов времени, сопротивлений и емкостей; высокочастотная пересчетная декада; блок формирования импульсов; преобразователь напряжение-частота; прибор для проверки кварцевых резонаторов; осциллографический пробник; коммутатор к осциллографу; вольтметр на полевых транзисторах; источник питания измерительных приборов.

Автор широко использовал в измерительном комплекте плоские микромодули и интегральные микросхемы.

Это позволило ему создать любительские устройства, отвечающие современным направлениям конструирования подобной радиоэлектронной аппаратуры.

Ниже описываются приборы комплекта (широкодиапазонный генератор дискретных частот, цифровой прибор, высокочастотная пересчетная декада, осциллографический пробник, коммутатор, вольтметр, а также источник питания), которые представляют наибольший интерес для радиолюбителей, занимающихся конструированием современной измерительной аппаратуры.

Широкодиапазонный генератор дискретных частот (ШГДЧ) предназначен для настройки устройств дискретной техники, для использования в качестве задающего генератора при формировании управляющих импульсов в цифровых измерительных приборах и для снятия характеристик импульсных усилителей.

Технические данные

Диапазон частот	от 1 МГц до 0,1 Гц
Стабильность частоты	не хуже $1 \cdot 10^{-5}$
Амплитуда выходных импульсов	7 В
Полярность импульсов	+ и —
Длительность переднего фронта импульсов	не более 0,2 мкс
Длительность спада импульсов	не более 0,5 мкс
Размеры прибора	160×70×120 мм

Внешний вид представлен на рис. 1.

Функциональная схема ШГДЧ показана на рис. 2. Задающий генератор (рис. 3) кварцевый, выполнен по трехточечной схеме на транзисторе *T1*. Эмиттерный повторитель на транзисторе *T2* устраняет влияние нагрузки (формирователя импульсов) на работу генератора.

Вырабатываемый задающим генератором синусоидальный сигнал частотой 1 МГц подается на формирователь импульсов, представляющий собой триггер Шмитта на транзисторах *T3*, *T4*. В исходном состоянии транзистор *T3* закрыт, *T4* открыт. При поступлении на вход отрицательной полуволны напряжения триггер срабатывает, и на резисторе *R11* возникает отрицательный импульс амплитудой до 4,5 В с коротким фронтом. Импульс через эмиттерный повторитель (транзистор *T5*) подается на ключевой усилитель (транзистор *T6*), с нагрузки которого (резистор *R18*) снимается положительный импульс 6,5 В

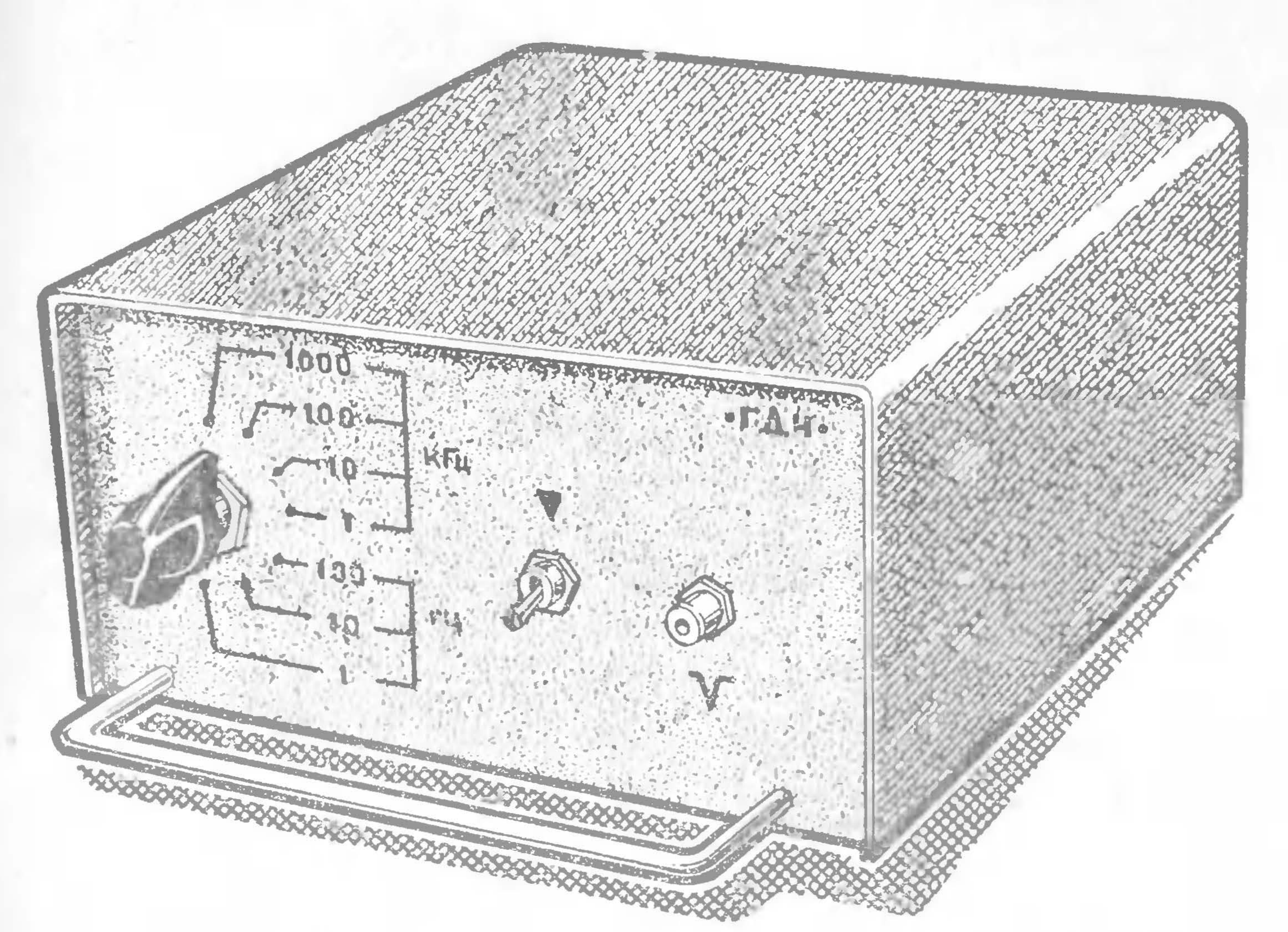


Рис. 1. Внешний вид генератора дискретных частот

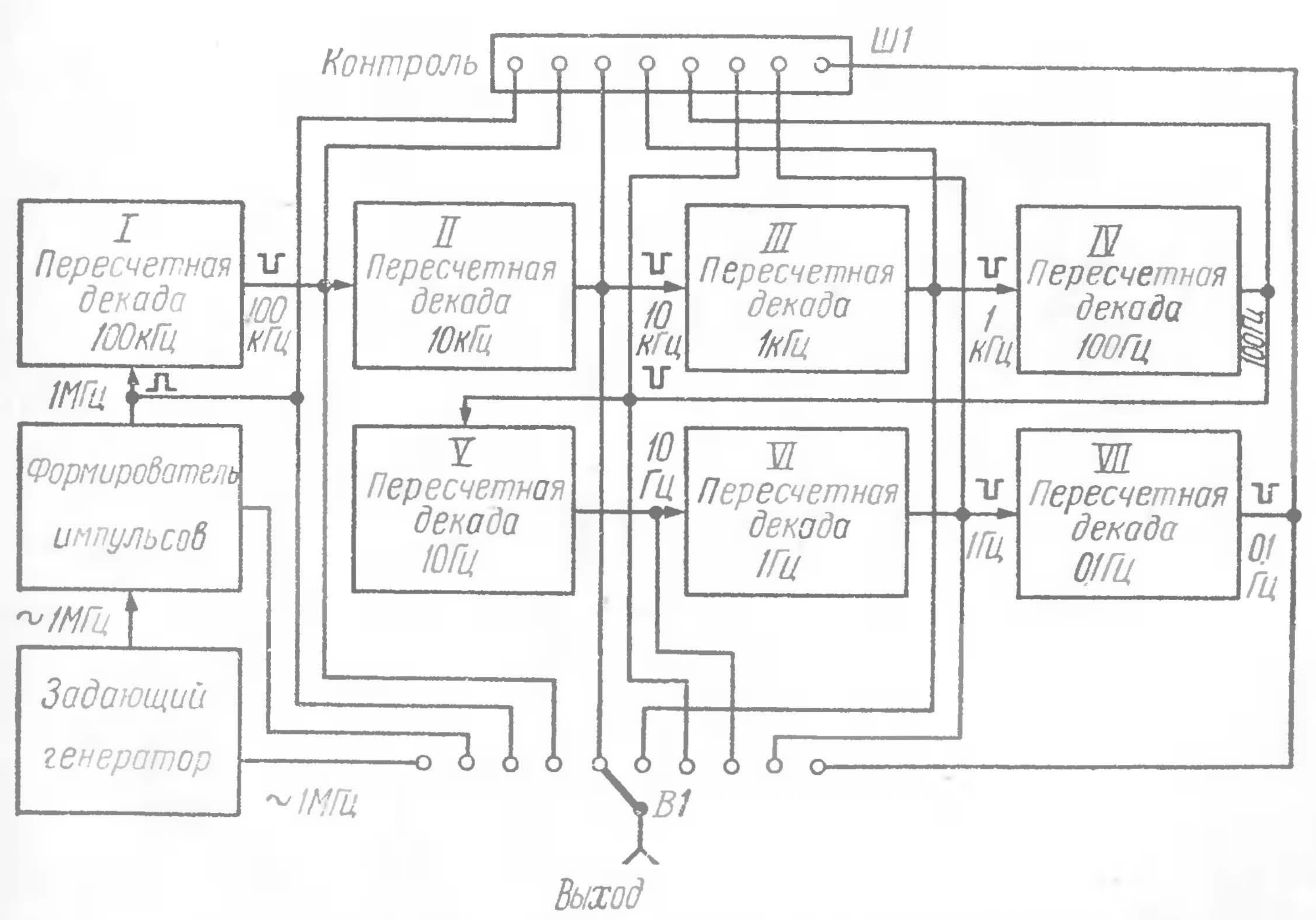


Рис. 2. Функциональная схема генератора

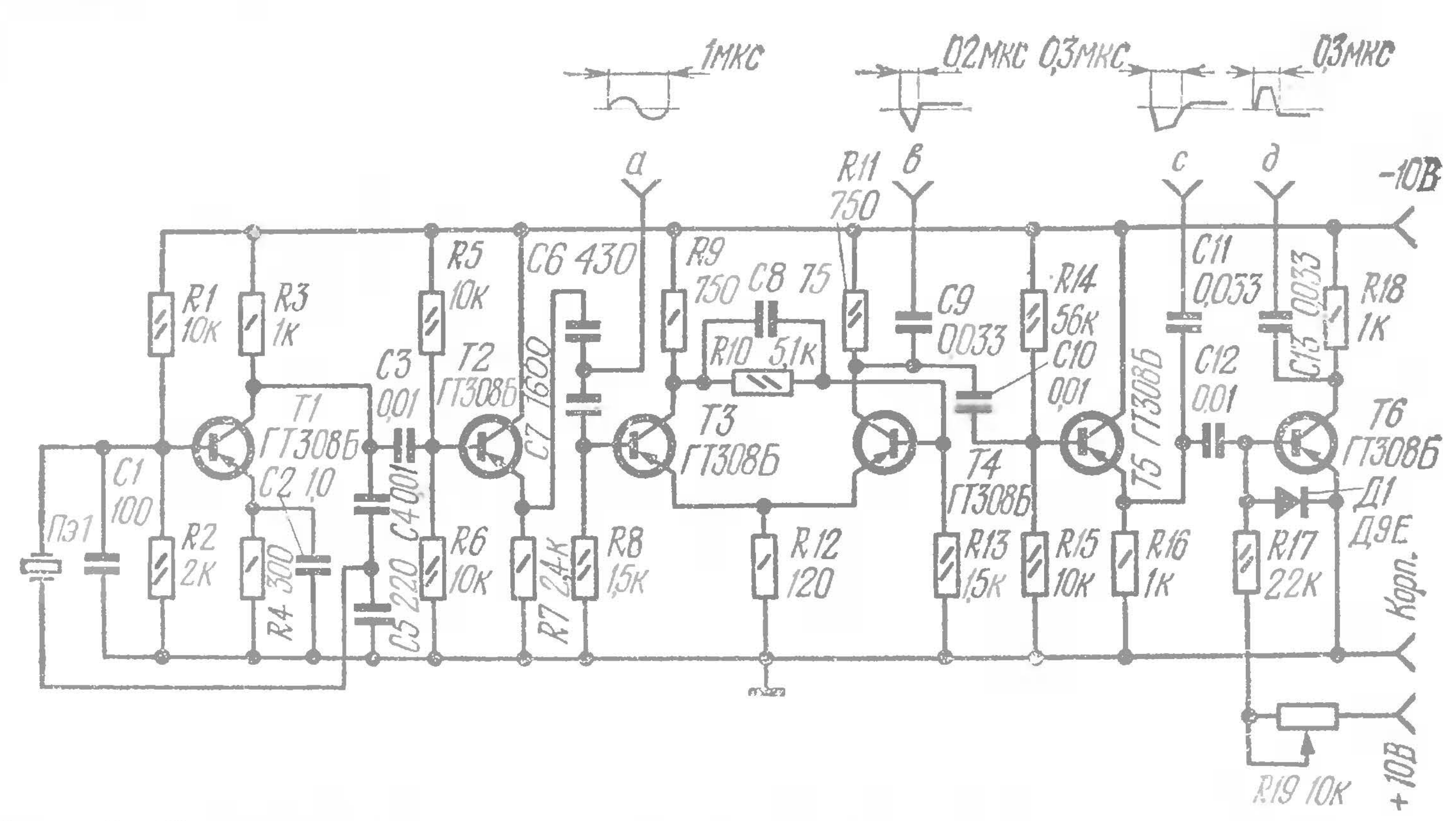


Рис. 3. Принципиальная схема задающего генератора и формирователя импульсов (кварцевый резонатор Пэ1 КВ1-ПР2М)

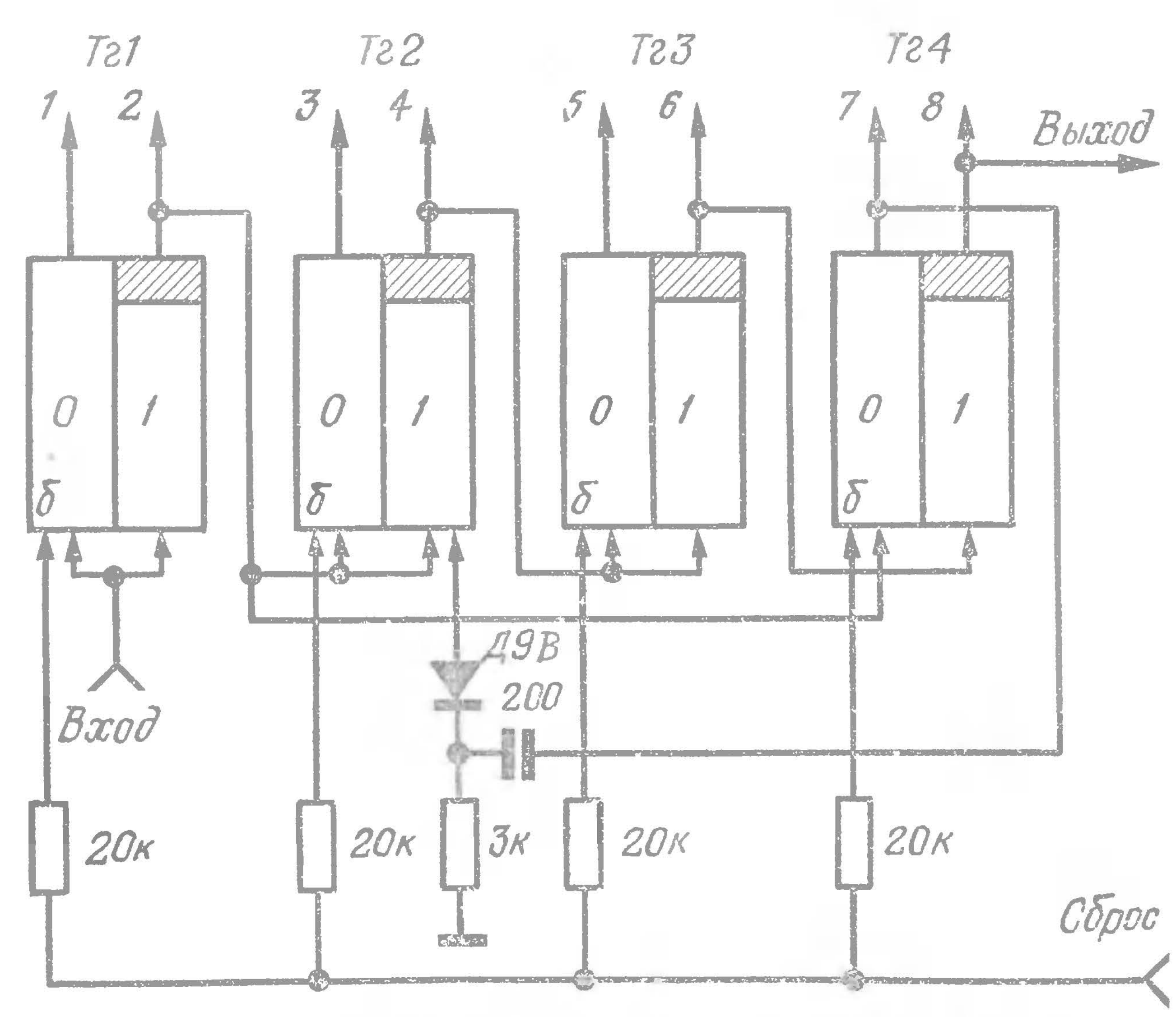


Рис. 4. Функциональная схема пересчетной декады

и длительностью примерно 0,3 мкс. Этим импульсом запускается первая пересчетная декада, используемая как делитель частоты (см. рис. 2).

Импульс на выходе декады появляется только после поступления на ее вход десятого импульса, то есть происходит понижение частоты в 10 раз. Аналогичным образом работают и остальные декады.

Первая декада собрана на четырех высокочастотных триггерах, охваченных обратной связью, как показано на функциональной схеме рис. 4. Принципиальная схема триггеров первой декады приведена на рис. 5; выполнены они на плоских микромодулях. Код декады 1-2-4-8. Остальные декады построены аналогичным образом, но схемы триггерных ячеек несколько упрощены (рис. 6).

Переключатель *B1* (см. рис. 2) служит для выбора соответствующей частоты выходного сигнала ШГДЧ; кроме того, сигналы одновременно могут быть сняты с колодки *Ш1*.

Цифровой измерительный прибор предназначен для измерения:

— периодов колебаний длительностью от 1000 мс до 10 мкс (то есть частот в диапазоне 1 Гц — 100 кГц);

— интервалов времени от 10 с до 10 мкс;

— емкостей от 10 пФ до 10 мкФ;

— сопротивлений от 1 Ом до 10 МОм.

Погрешность при измерении периодов колебаний и временных интервалов не превышает ±0,01% ± 1 знак младшего разряда; при измерении емкостей и сопротивлений — ±0,5% ± 1 знак младшего разряда. Входные параметры прибора: сопротивление 100 кОм, емкость 50 пФ. Потребляемая мощность 10 Вт.

Прибор состоит из следующих узлов: электронного счетчика с цифровой индикацией; генератора образцовой частоты (генератор меток); каскадов деления частоты; входных устройств для измерения: периодов колебаний, интервалов времени, сопротивлений и емкостей; схемы сравнения; схемы совпадений (селектора); схемы управления селектором.

Функциональная схема прибора при измерении периодов колебаний приведена на рис. 7. Формирующее устройство и схема управления селектором преобразуют входной сигнал в управляющие импульсы, длительность которых равна периоду измеряемого сигнала T_x. На селектор

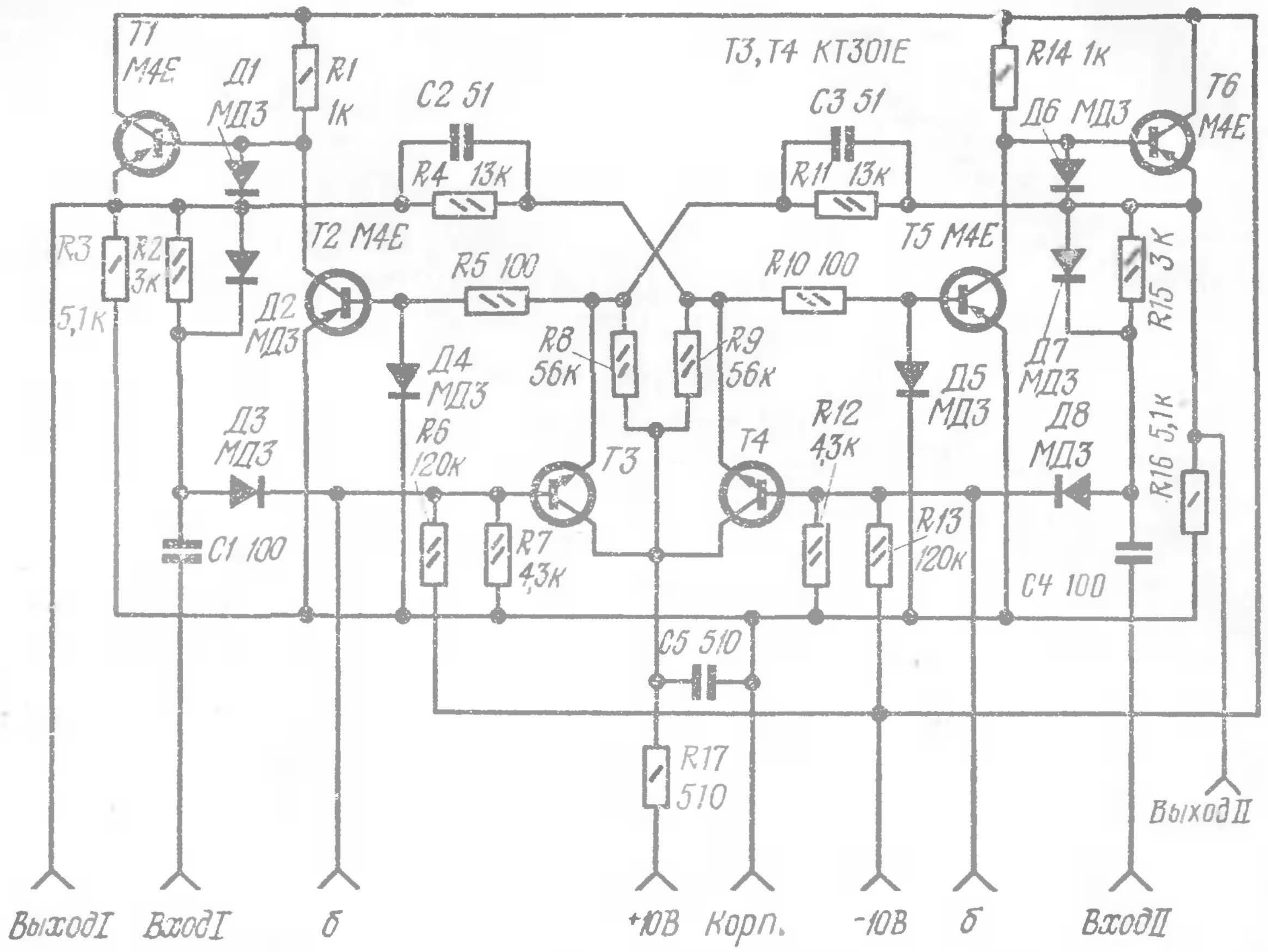


Рис. 5. Принципиальная схема высокочастотного триггера первой декады ШГДЧ

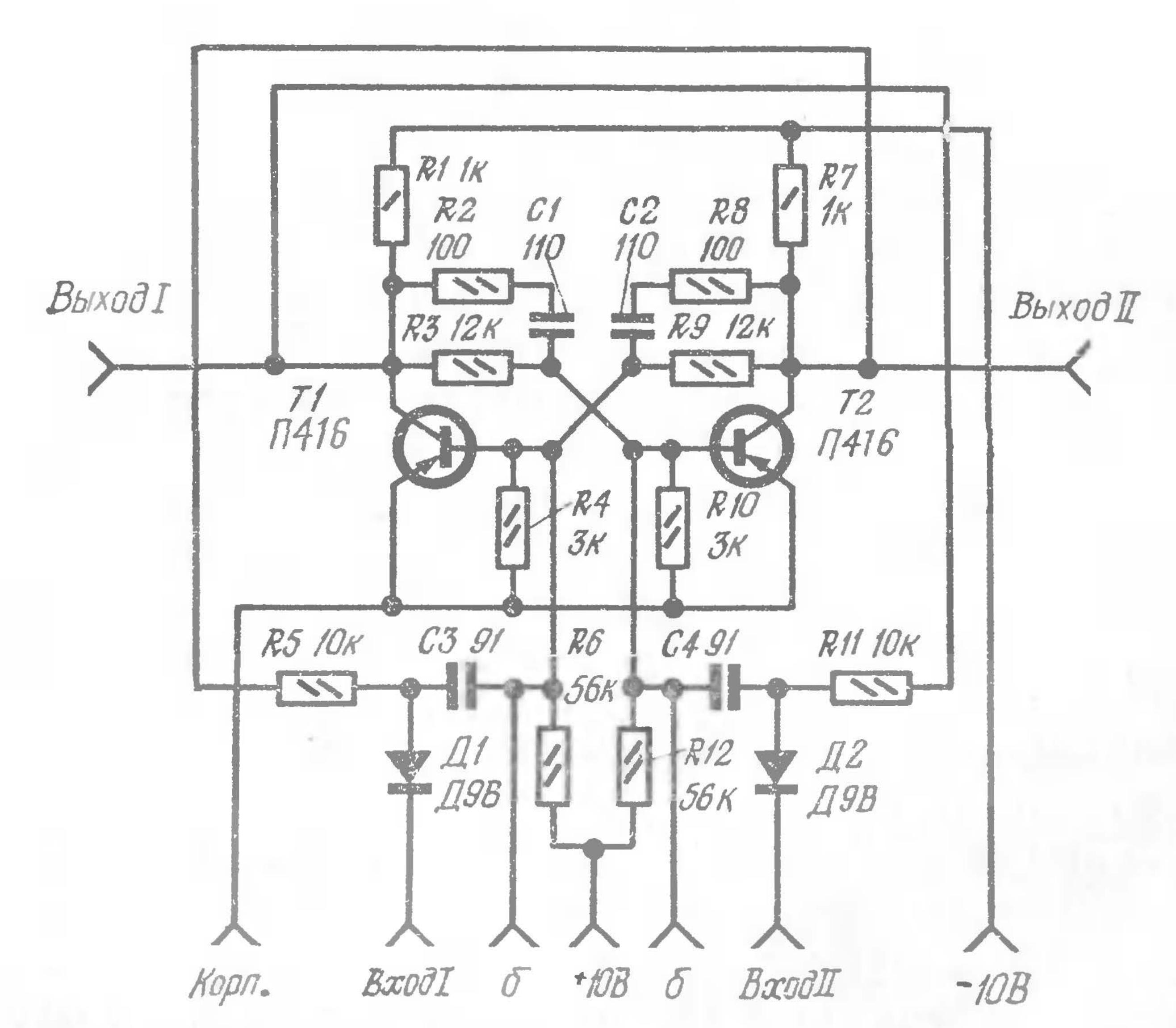


Рис. 6. Принципиальная схема триггера декад II—IV

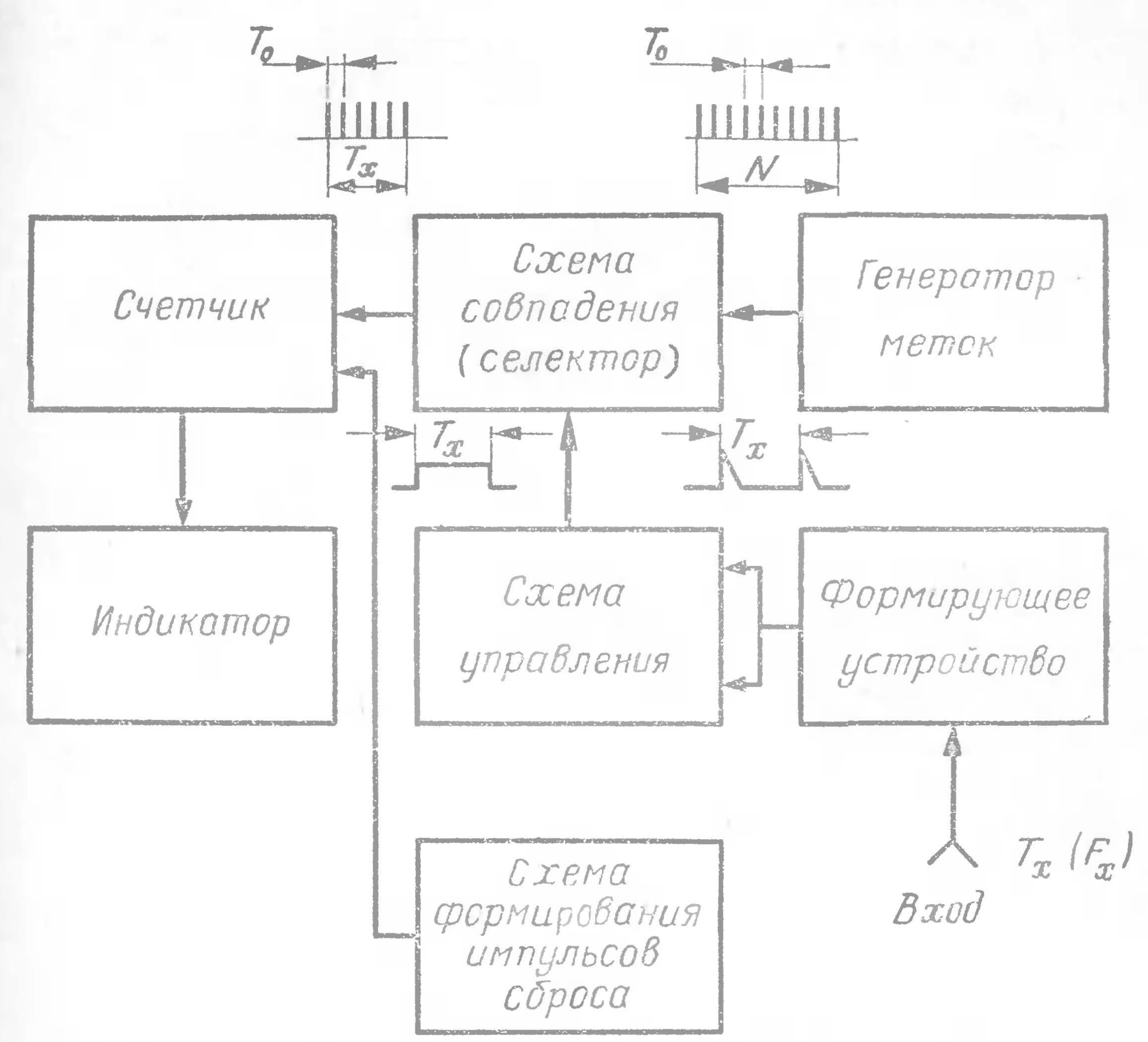


Рис. 7. Функциональная схема прибора при измерении периодов колебаний T_x

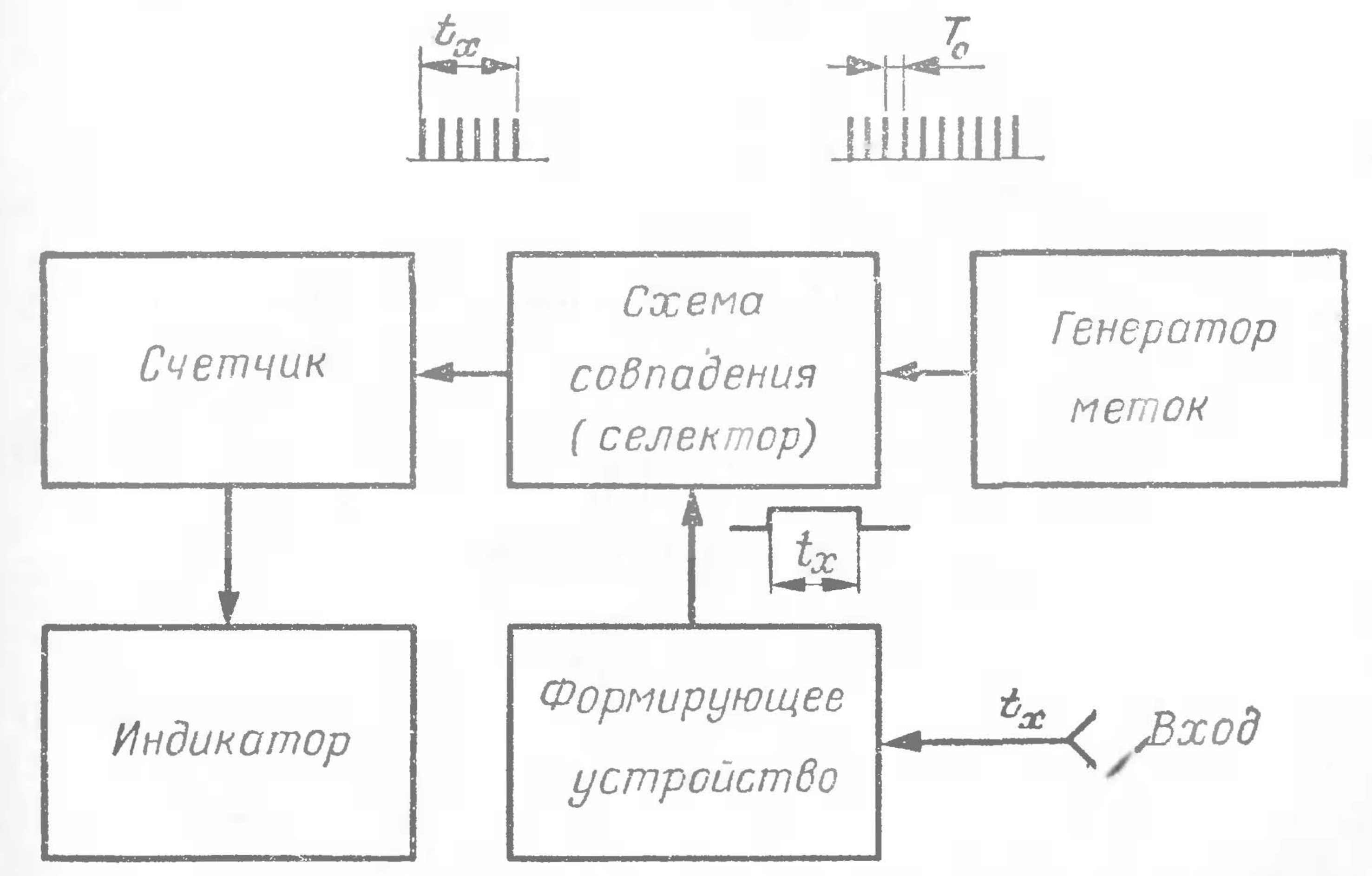


Рис. 8. Функциональная схема прибора при измерении интервалов времени t_x

поступают также импульсы с точно известным периодом T_0 (образцовый период) от генератора меток. В результате воздействия этих двух сигналов на селектор на его выходе появляются в течение измеряемого интервала T_x импульсы с эталонным периодом T_0. Для повышения точности измерения число образцовых импульсов в интервале T_x должно быть возможно бо́льшим. В качестве генератора меток используется генератор дискретных частот с делителями (см. рис. 2).

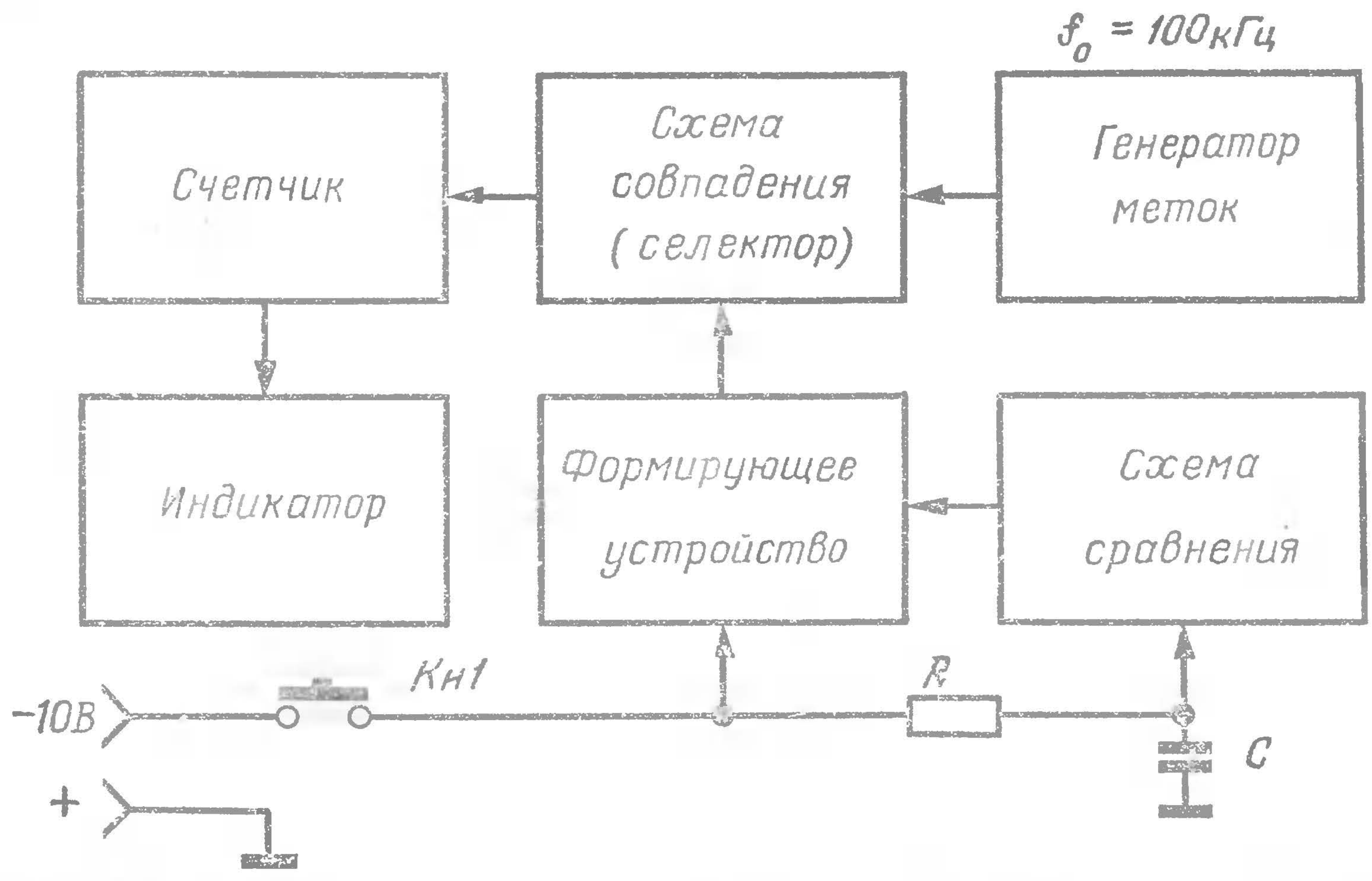


Рис. 9. Функциональная схема прибора при измерении сопротивлений и емкостей

Счетчик прибора регистрирует число поступающих на него импульсов с образцовым периодом T_0.

Функциональная схема при измерении интервалов времени показана на рис. 8. Здесь формирующее устройство вырабатывает управляющий сигнал длительностью, равной измеряемому интервалу времени t_x. На выходе селектора, как и в предыдущем случае, возникает сигнал длительностью t_x, представляющий собой серию импульсов с образцовым периодом T_0. Эти импульсы фиксируются счетчиком прибора.

Принцип измерения сопротивления и емкости основан на преобразовании величины сопротивления или емкости в пропорциональный этой величине интервал времени. Функциональная схема прибора для данного вида измерений показана на рис. 9. При замыкании кнопки *Кн1*

напряжение от источника питания подается на *RC* цепь и триггер формирующего устройства. Последний вырабатывает импульс, передний фронт которого открывает селектор, в результате чего на счетчик начинают поступать импульсы с генератора меток (опорного генератора).

Напряжение, подаваемое с конденсатора *C* на схему сравнения, по мере заряда конденсатора возрастает, и как только оно достигает определенной величины $U_{ср}$ (напряжение срабатывания), схема сравнения вырабатывает импульс, возвращающий триггер формирующего устройства в исходное состояние. При этом поступление импульсов на счетчик прекращается.

Время заряда конденсатора *C* до напряжения $U_{ср}$, а следовательно, и число импульсов (при $f_0 = \text{const}$), зафиксированных счетчиком, зависит от постоянной времени *RC* цепи, а именно $N = f_0RC$.

При измерении сопротивлений в цепь включается образцовый конденсатор C_0. Тогда:

$$N_R = KR_x,$$

где $K = f_0C_0$ — коэффициент пропорциональности.

При измерении емкости в цепь включается образцовый резистор R_0, и тогда:

$$N_C = KC_x,$$

где $K = f_0R_0$.

Частоту генератора меток и величину образцовых емкостей и сопротивлений на каждом диапазоне выбирают такими, чтобы коэффициент пропорциональности *K* был кратен 10.

Принципиальная схема цифрового прибора при измерении сопротивлений и емкостей приведена на рис. 10. Генератор меток вырабатывает импульсы частотой 100 кГц, которые поступают на схему совпадений. В качестве генератора меток используется входящий в комплект «Объ-72» широкодиапазонный генератор дискретных частот (см. рис. 1).

Схема совпадений собрана на включенных последовательно транзисторах *Т2* и *Т3* с общей нагрузкой *R11*. В исходном состоянии транзисторы *Т2* и *Т3* закрыты напряжением смещения (на базу транзистора *Т2* — с делителя *R5R7*, на базу *Т3* — с делителя *R6R8R10*). Чтобы схема совпадений сработала, необходимо подать соответствующие напряжения на базу как транзистора *Т2*, так

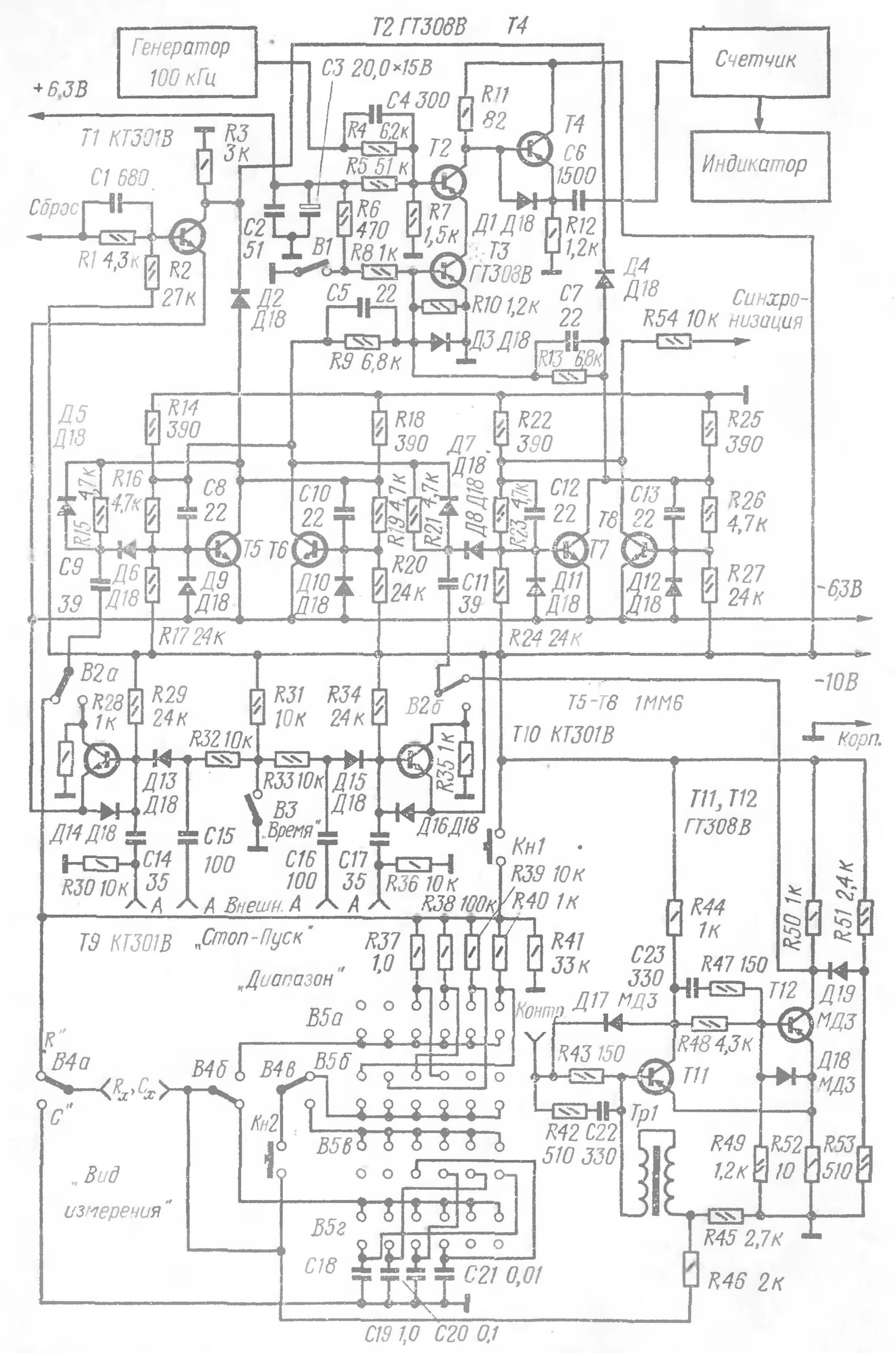


Рис. 10. Принципиальная схема прибора при измерении сопротивлений и емкостей

и *Т3*. Транзистор *Т2* открывается импульсами отрицательной полярности, поступающими от генератора меток. Транзистор *Т3* открывается управляющим импульсом, вырабатываемым формирующим устройством.

Формирующее устройство представляет собой два симметричных триггера с коллекторно-базовыми связями (транзисторы *Т5Т6* и *Т7Т8*). Импульсы, запускающие триггеры, подаются на их входы (на базы) через усилители на транзисторах *Т9* и *Т10*, работающие в ключевом режиме. Благодаря этому триггеры имеют довольно высокую чувствительность.

Перед началом измерений сопротивлений и емкостей транзисторы *Т5* и *Т7* триггеров переводятся в открытое состояние импульсами сброса. Эти импульсы (положительной полярности) поступают с устройства сброса на транзистор *Т1*, который изменяет их полярность на отрицательную, и далее через диоды *Д2* и *Д4* к транзисторам *Т5* и *Т7*.

При нажатии кнопки *Кн1* импульс напряжения —10 В поступает в измерительную *RC* цепь. Передним фронтом этого импульса запускается левый (по схеме) триггер. При этом отрицательное напряжение, возникающее на нагрузке транзистора *Т6* (резистор *R14*), через развязывающую цепочку *C5R9* поступает на базу транзистора *Т3*, открывая последний. Так как оба транзистора (*Т2* и *Т3*) схемы совпадений оказываются открытыми, импульсы с генератора меток через эмиттерный повторитель (транзистор *Т4*) начинают поступать на счетное устройство.

При измерении сопротивлений напряжение 10 В через измеряемое сопротивление R_x и переключатель вида измерений *В4* заряжает один из образцовых конденсаторов *С18*—*С21* (в зависимости от предела измерений). Напряжение отрицательной полярности с образцового конденсатора подается на схему сравнения напряжений (транзисторы *Т11*, *Т12*), представляющую собой триггер Шмитта. В исходном состоянии транзистор *Т11* закрыт, *Т12* открыт.

Как только напряжение на образцовом конденсаторе достигает значения, при котором транзистор *Т11* открывается, транзистор *Т12* закрывается. При этом импульс напряжения с триггера Шмитта поступает на правый (по схеме) триггер (транзисторы *Т7*, *Т8*) формирующего устройства, состояние которого меняется на противоположное. Положительный импульс с триггера закрывает

схему совпадений, и поступление импульсов с генератора меток на счетчик прекращается. Прибор готов к следующему измерению.

При измерении емкостей переключатель вида измерений *В4* переводят в положение *С*, а переключателем *В5* устанавливают необходимый предел измерений.

В приборе предусмотрена калибровка при измерении как сопротивлений, так и емкостей. Для этого нажимают кнопку *Кн2*, устанавливают переключатели *В4* и *В5* в нужное положение, а калибровку производят по образцовому сопротивлению (или емкости), которое должно соответствовать верхнему значению выбранного предела измерений.

При измерении интервалов времени (см. рис. 10) переключатель *В2* устанавливается в положение «*Период*», а *В3* — в положение «*Время*». Запуск формирователя производится по внешним входам «*Пуск*» и «*Стоп*» с помощью импульсно-потенциальных схем совпадения, состоящих из конденсаторов *С15*, *С16*, резисторов *R31* — *R33* и диодов *Д13*, *Д15*. В случае измерения периодов колебаний разной полярности на диоды *Д13* и *Д15* через резистор *R31* подается отрицательное напряжение, закрывающее их. При замыкании же *В3* резисторы *R32R33* соединяются с общей шиной, и схема оказывается подготовленной к запуску внешними сигналами положительной полярности.

Перевод триггеров формирующего устройства в исходное состояние осуществляется, как уже указывалось выше, импульсами сброса отрицательной полярности через диоды *Д2* и *Д4*.

Измерение T_x и t_x производится с помощью формирующего устройства, схема которого приведена на рис. 11. Устройство состоит из усилителя, формирователя импульсов, цепи коммутации выходных сигналов и регулятора уровня запуска.

Первый каскад усилителя собран по схеме эмиттерного повторителя на транзисторе *Т1*. Диоды *Д1* и *Д2* осуществляют двустороннее ограничение входного сигнала. Переменным резистором *R38* устанавливают уровень запуска.

С выхода эмиттерного повторителя сигнал подается на каскодный усилитель (транзисторы *Т2* и *Т3*) и далее на второй эмиттерный повторитель (транзистор *Т4*),

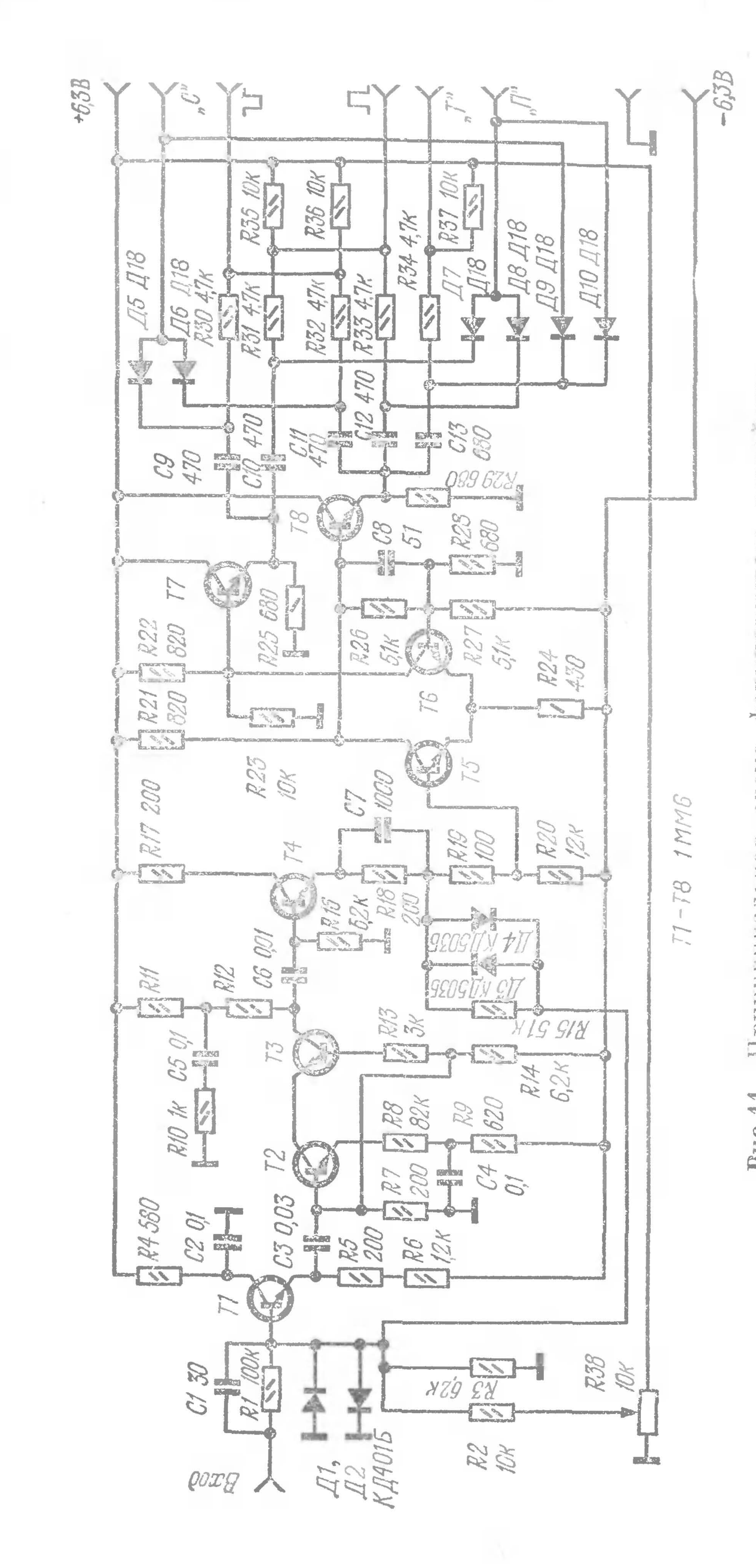


Рис.11. Принципиальная схема формирующего устройства

служащий для согласования выхода усилителя со входом формирователя импульсов (транзисторы *Т5* и *Т6*). Формирователь соединен с коммутирующими цепями через согласующие каскады на транзисторах *Т7* и *Т8*.

Цепи коммутации служат для выбора одного из видов работы (измерение периода колебаний или длительности). Коммутирующими элементами являются диоды *Д5—Д10*. Диоды, не участвующие в измерениях, закрыты напряжением +6,3 В. Переключателем вида измерений производится соединение с корпусом прибора одного из выходов устройства («*Период Т*», импульсы положительной или отрицательной полярности). При этом с соответствующих диодов снимается закрывающее напряжение. Например, при измерении длительности импульсов отрицательной полярности выход «‾|_|‾» соединяется с корпусом, диоды открываются, и на формирователь управляющего импульса поступают импульсы «*Пуск*» и «*Стоп*» с выходов «*П*» и «*С*».

На рис. 12 приведена схема блока синхронизации прибора, управляющего работой схем формирования времени, индикации и импульса сброса.

Во время действия управляющего импульса транзистор *Т1* (см. рис. 12) закрыт. Конденсатор *С1* заряжается до напряжения 10 В через резисторы *R2*, *R3* и диод *Д1*. Это напряжение через резистор *R7* закрывает диод *Д2*, препятствуя тем самым прохождению импульсов синхронизации с частотой следования 10 Гц на ждущий мультивибратор (транзисторы *Т2* и *Т3*).

После окончания действия управляющего импульса транзистор *Т1* открывается. Через него и резисторы *R3*, *R6* начинает разряжаться конденсатор *С1*. Запирающее напряжение на диоде *Д2* понижается, и он открывается, пропуская импульсы синхронизации на ждущий мультивибратор. Постоянная времени цепи разряда *С1* определяет время индикации результата измерения на счетчике, которое может регулироваться переменным резистором *R6*.

В исходном состоянии транзистор *Т2* открыт, а *Т3* закрыт. Конденсатор *С3* заряжен почти до напряжения питания. Синхроимпульс закрывает транзистор *Т2*. При этом открывается транзистор *Т3*, и конденсатор *С3* начинает разряжаться через него и резистор *R8*. Поло-

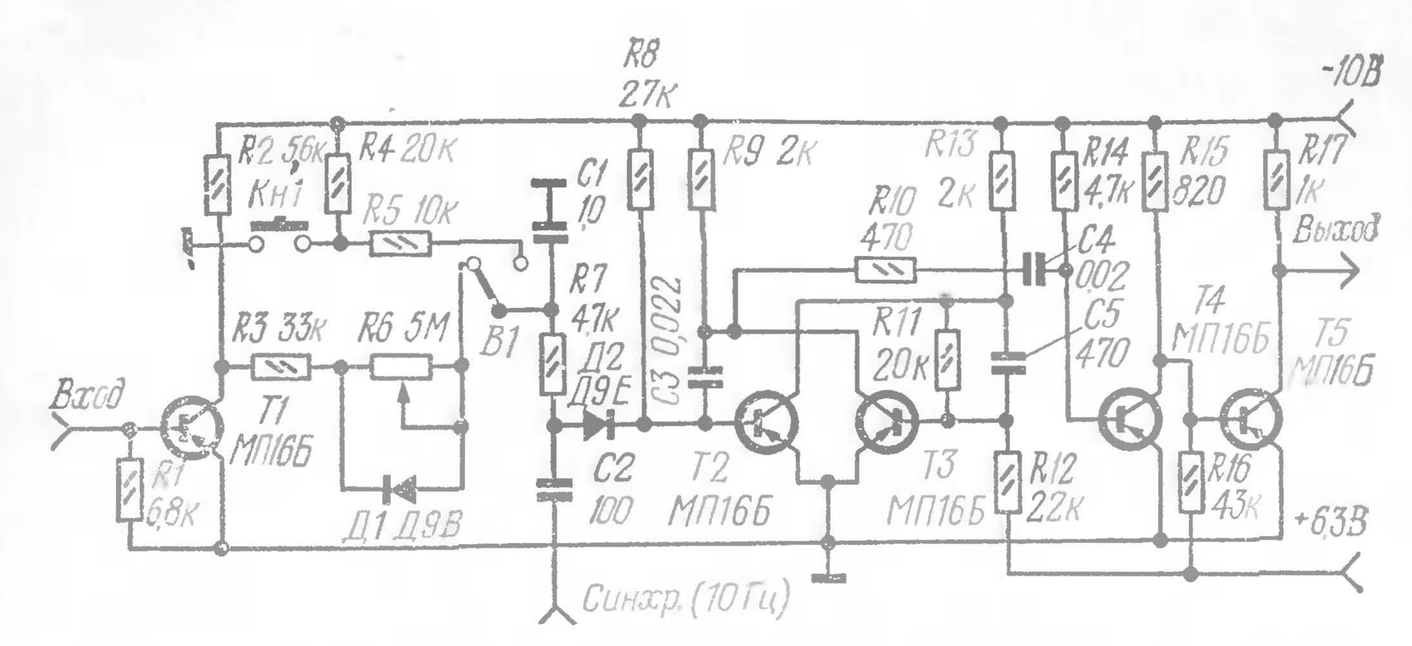


Рис. 12. Принципиальная схема блока синхронизации

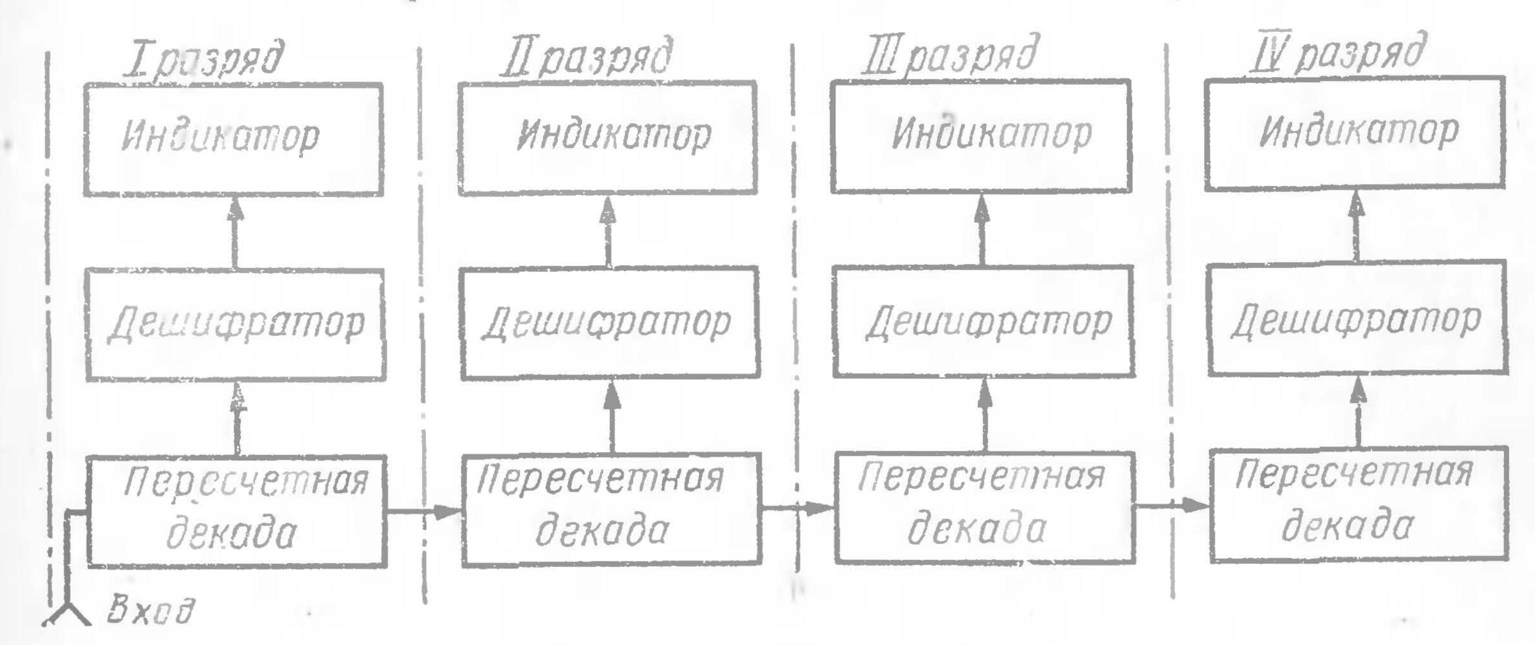


Рис. 13. Функциональная схема счетчика-индикатора

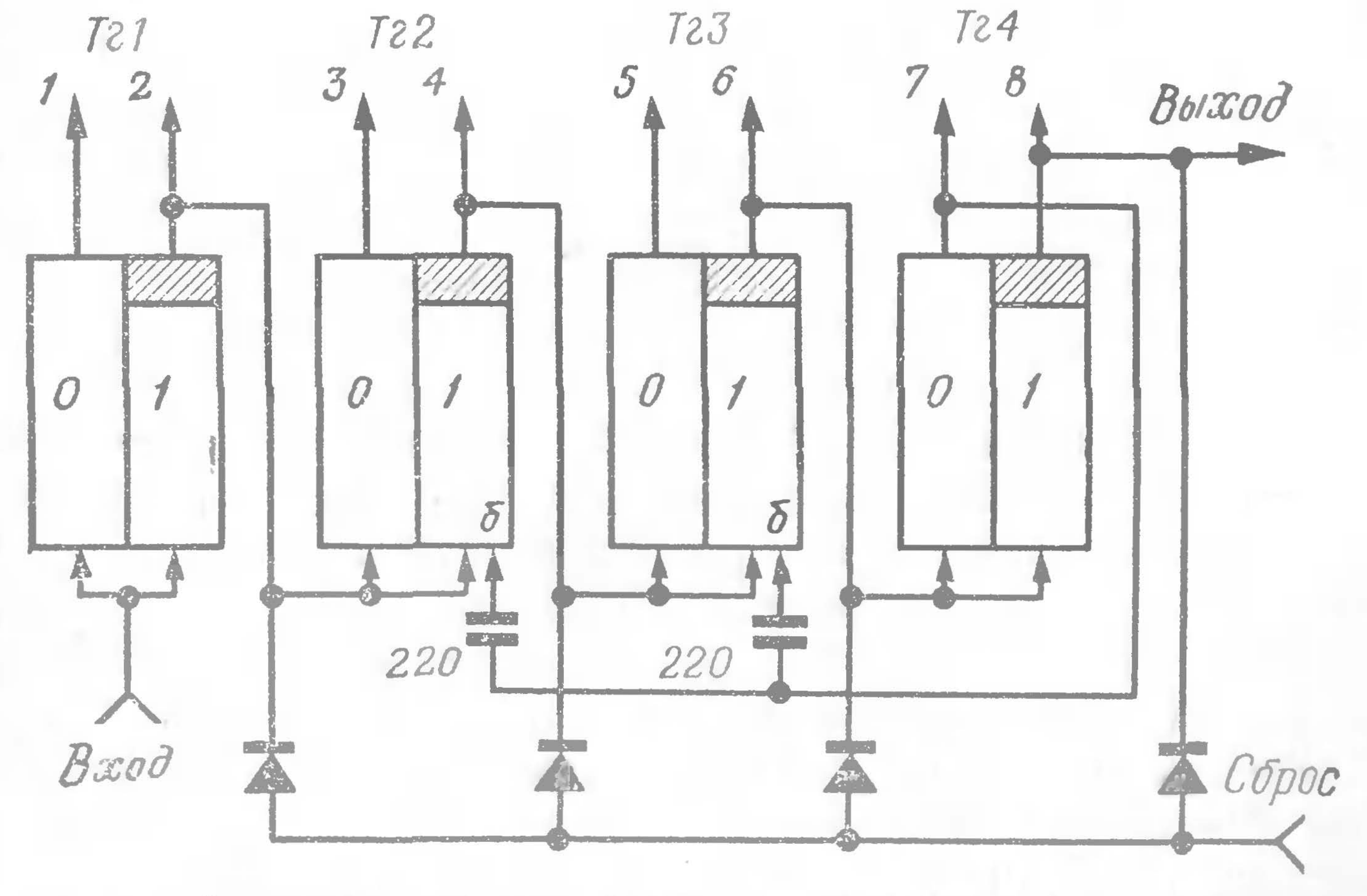


Рис 14. Функциональная схема низкочастотной пересчетной декады.

жительный потенциал на базе *Т2* уменьшается, и ждущий мультивибратор возвращается в исходное состояние. С коллектора *Т3* снимается положительный импульс, передний фронт которого запускает узел формирования импульса сброса (транзисторы *Т4* и *Т5*).

В исходном состоянии транзистор *Т4* открыт, а *Т5* закрыт. Импульс напряжения с коллектора транзистора *Т3* закрывает транзистор *Т4*. Транзистор *Т5* открывается, и с его нагрузки (резистор *R17*) снимается положительный импульс сброса, который поступает на инверторный каскад цифрового измерителя (см. рис. 10). Длительность импульса сброса определяется цепочкой *R10C4*.

Перевод прибора с автоматического пуска на ручной осуществляется переключателем *В1*. При этом, когда кнопка *Кн1* разомкнута, конденсатор *С1* заряжается до —10 В через резисторы *R4* и *R5*. Как и при автоматическом пуске, это напряжение через резистор *R7* приложено к диоду *Д2* и надежно закрывает последний. При нажатии кнопки *Кн1* точка соединения резисторов *R4* и *R5* оказывается соединенной с корпусом. Конденсатор *С1* разряжается через резистор *R5*. Дальнейшее формирование импульса сброса происходит так же, как при автоматическом пуске.

На рис. 13 представлена функциональная схема счетчика-индикатора. Он состоит из четырех пересчетных декад с индикаторами. Каждая декада, представляющая собой разряд счетчика, содержит четыре триггера (рис. 14), собранных на плоских микромодулях. Триггеры включены по счетному входу и охвачены импульсной обратной связью. Состояния триггеров при счете импульсов представлены в таблице («1» — транзистор открыт, «0» — закрыт). Исходным является состояние, когда левые (по схеме) транзисторы всех триггеров декады открыты. Счетная ячейка из четырех триггеров считает до 16 ($N = 2^4 = 16$). Применение же внутренних обратных связей дает возможность осуществить счет до 10 (как это и показано в таблице), так как после поступления на вход схемы восьмого импульса триггеры устанавливаются в состояния «1-0», «0-1», «0-1», «0-1», а не в состояния «1-0», «1-0», «1-0», «0-1». Девятый импульс меняет состояния на «0-1», «0-1», «0-1», «0-1», а десятый импульс возвращает триггеры в исходное состояние.

Номер счетного импульса	Состояние триггеров			
	Тг1	*Тг2*	*Тг3*	*Тг4*
0	1 0	1 0	1 0	1 0
1	0 1	1 0	1 0	1 0
2	1 0	0 1	1 0	1 0
3	0 1	0 1	1 0	1 0
4	1 0	1 0	0 1	1 0
5	0 1	1 0	0 1	1 0
6	1 0	0 1	0 1	1 0
7	0 1	0 1	0 1	1 0
8	1 0	0 1	0 1	0 1
9	0 1	0 1	0 1	0 1
10 (0)	1 0	1 0	1 0	1 0

Все триггеры одинаковы и собраны по схемам, показанным на рис. 5 и 15. Диоды (см. рис. 14) устраняют связь триггеров через шину сброса.

Индикация состояния триггеров каждой декады производится с помощью газоразрядных ламп ИН-2. Для зажигания одной из цифр необходимо к соответствующему промежутку анод-цифровой катод подвести через ограничивающий резистор напряжение порядка 180 В. Питание индикаторов осуществляется от двух источников: —60 В и +125 В, соединенных последовательно.

Работой цифрового индикатора управляет дешифратор, собранный на резисторах и высоковольтных транзисторах. Схема его аналогична показанной на рис. 18.

Внешний вид прибора представлен на рис. 16.

Высокочастотная пересчетная декада предназначена для десятичного пересчета импульсов с цифровой индикацией.

Технические данные

Максимальная частота счета	1МГц
Амплитуда запускающих импульсов	4,5 В (полярность отрицательная)
Амплитуда выходных импульсов	не менее 7 В (полярность отрицательная)
Амплитуда импульсов сброса	6—8 В (полярность положительная)
Длительность переднего фронта импульсов	0,2 мкс

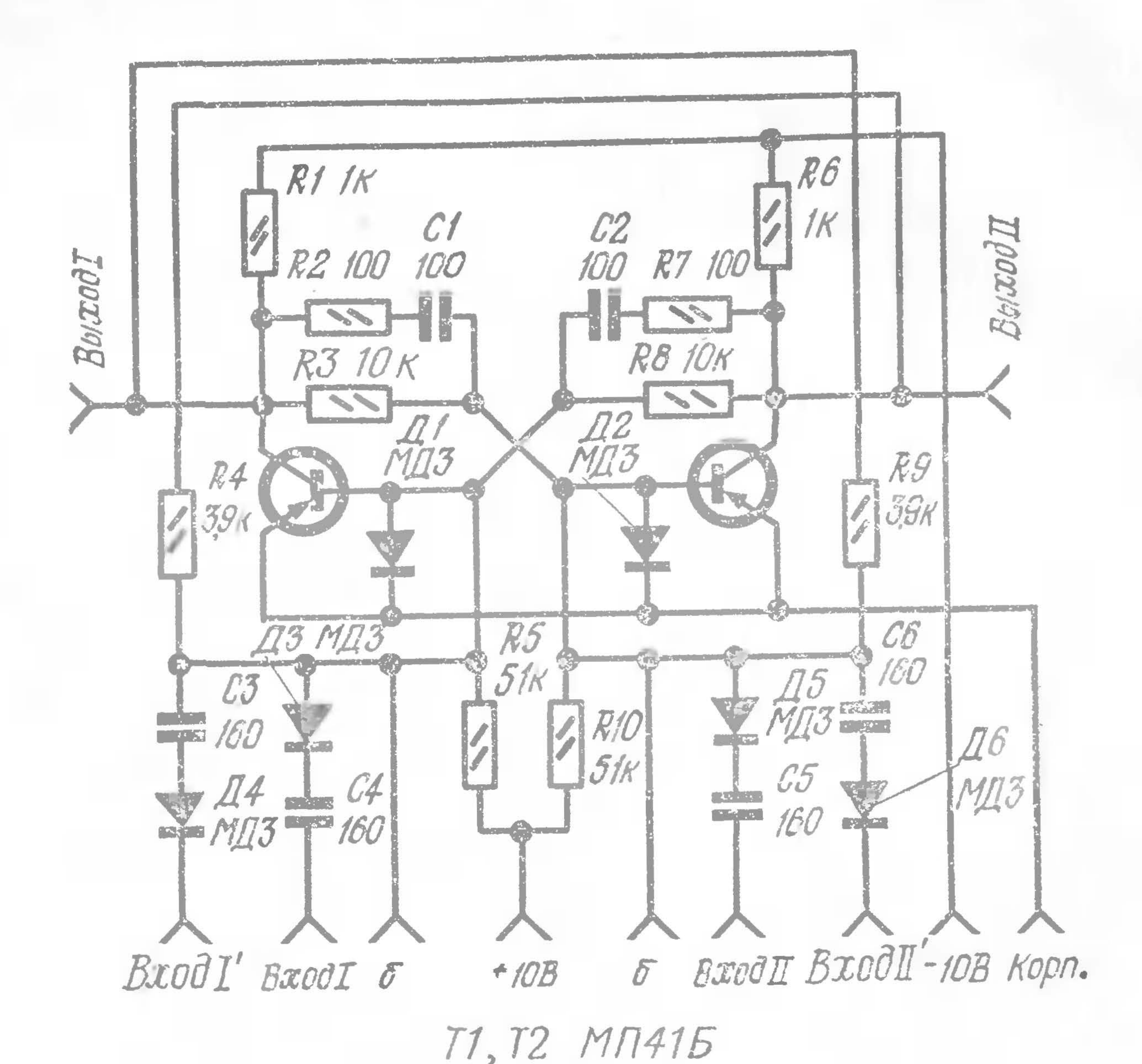


Рис. 15. Принципиальная схема низкочастотного триггера пересчетной декады

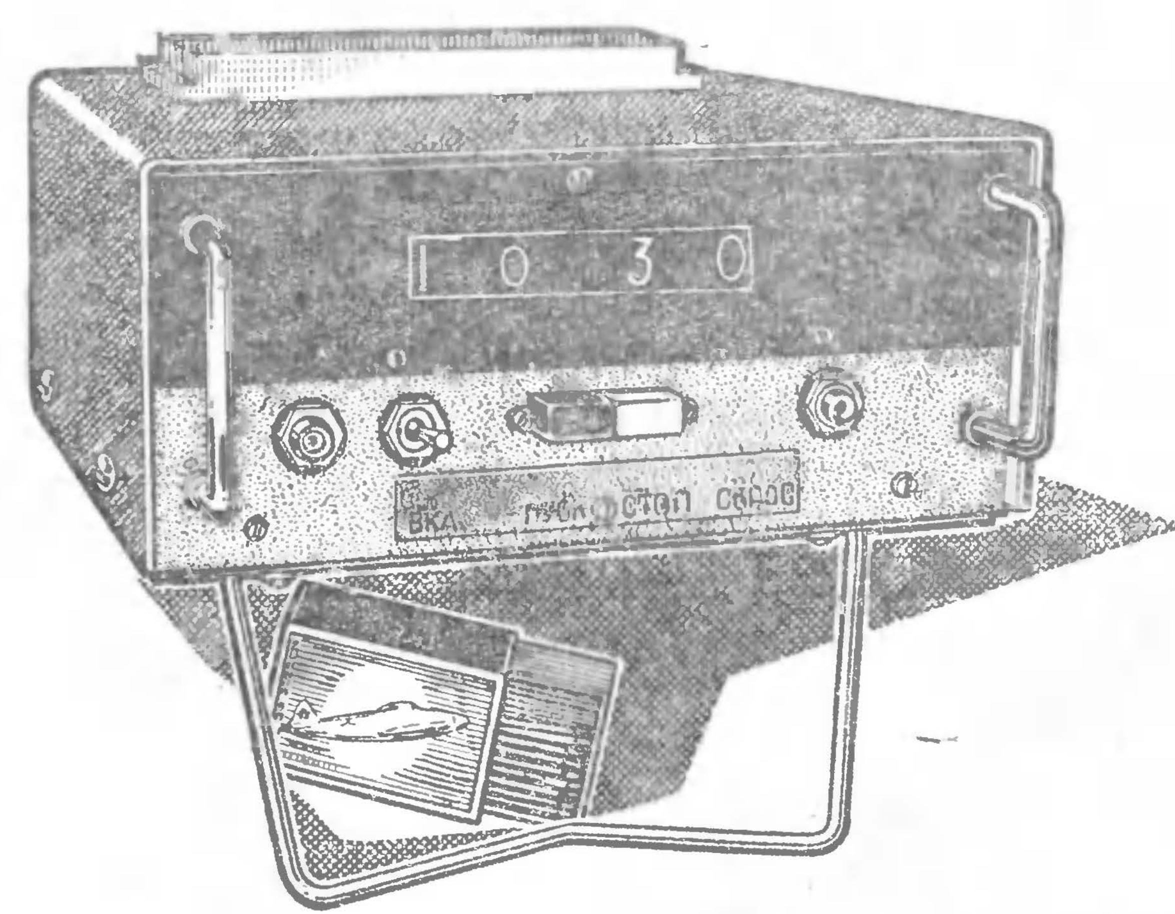


Рис. 16. Внешний вид цифрового измерительного прибора

Функциональная схема декады представлена на рис. 17; в ее состав входят десятичный счетчик, дешифратор и индикатор. Счетчик состоит из четырех последовательно соединенных триггеров (на плоских микромодулях) с цепями дополнительной прямой (между триггерами *Тг1* и *Тг4*) и отрицательной обратной (между выходом *Тг4* и *Тг2* через $R_{обр.св}$) связями. Код декады 1-2-4-8. Триггеры запускаются импульсами отрицательной полярности.

Обратная связь потенциальная, что позволяет обеспечить высокое быстродействие декады. В исходном состоя-

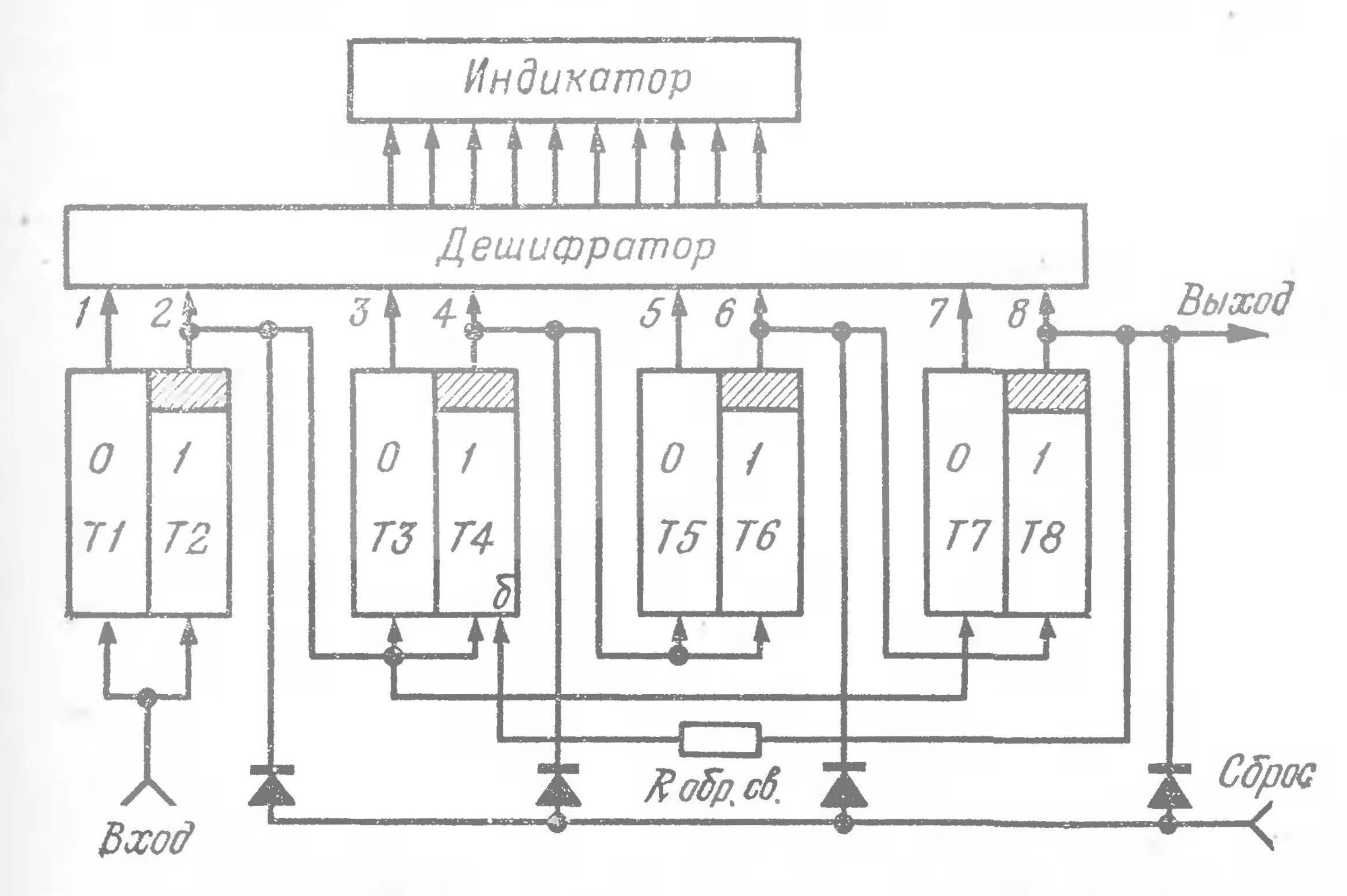


Рис. 17. Функциональная схема пересчетной декады

нии левые транзисторы триггеров открыты, правые закрыты («1—0»).

Схемы триггерных ячеек декад аналогичны схеме, приведенной на рис. 15.

Во время счета триггер *Тг1* переключается под действием каждого входного импульса, остальные — под действием только четных импульсов. Второй импульс переключает триггер *Тг2*, но не воздействует на триггер *Тг4*. Четвертый импульс, воздействуя на триггеры *Тг1*, *Тг2* и *Тг3*, переводит триггеры *Тг1* и *Тг2* в состояние «1-0», а *Тг3* переходит при этом в состояние «0—1». Шестой импульс переводит *Тг1* в состояние «1—0», а *Тг2* и *Тг3* переходят в состояние «0—1». Восьмой импульс переводит

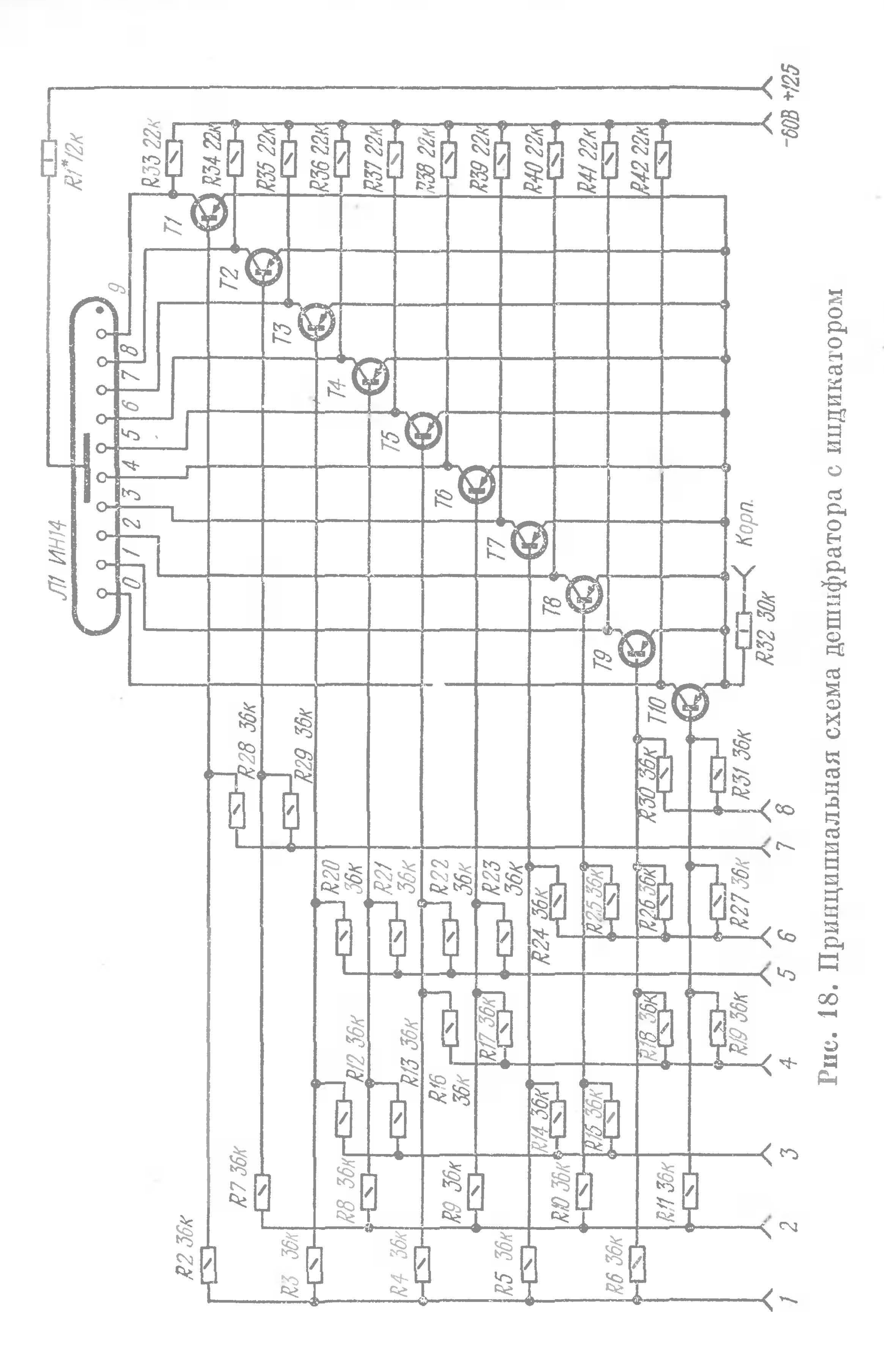


Рис. 18. Принципиальная схема дешифратора с индикатором

Тг1, *Тг2* и *Тг3* в состояние «1-0», а *Тг4* — в состояние «0-1». При этом база транзистора *Т4* (триггер *Тг2*) оказывается подключенной к корпусу (см. рис. 15), что предотвращает запуск *Тг2* при прохождении последующих импульсов.

Десятый импульс с выхода *Тг1* по обходному пути попадает на вход *Тг4* и переключает его. В результате все триггеры оказываются в состоянии «1-0», и на выходе декады появляется импульс. Переход *Тг1* в состояние «1—0» сопровождается снятием запрета с триггера *Тг2*.

Питание индикатора ИН14 производится от двух источников, соединенных последовательно: —60 и +125 В. Переключение электродов индикатора осуществляется с помощью дешифратора, который представляет собой матрицу, выполненную на резисторах *R2—R31* (рис. 18) с восемью входными и десятью выходными шинами. Входные сигналы поступают с выхода счетчика, к выходным шинам присоединены транзисторы, работающие в ключевом режиме.

Под действием выходных сигналов матрицы девять ключей из десяти переходят в открытое состояние. Напряжения на девяти цифровых электродах ИН14 уменьшаются почти до нуля в результате соединения источника —60 В с корпусом через ограничивающие резисторы *R33—R42* и открытые транзисторные ключи. Напряжение между соответствующими катодами и анодом снижается до 125 В, что недостаточно для зажигания.

Все транзисторы электронных ключей имеют общую эмиттерную нагрузку (резистор *R32*). Напряжение примерно 0,8 В, падающее на этом резисторе, обеспечивает необходимое смещение для закрытого транзистора. База десятого транзистора, соединенная с одной из выходных шин матрицы, оказывается подключенной к коллекторам открытых транзисторов триггерных ячеек, и на нее воздействует только напряжение, снимаемое с эмиттерной нагрузки. В результате электронный ключ закрывается. Напряжение на коллекторе его транзистора (—60 В), суммируясь с напряжением второго источника (+125 В), обеспечивает зажигание соответствующей цифры индикатора.

Осциллографический пробник предназначен для наблюдения и исследования электрических процессов в широком диапазоне частот.

Технические данные

Полоса пропускания	1 Гц — 3 МГц
Неравномерность частотной характеристики	не более 3 дБ
Чувствительность канала вертикального отклонения	0,1 мм/мВ
Амплитуда исследуемых сигналов	от 20 мВ до 100 В
Входные параметры:	
сопротивление	150 кОм
емкость	50 пФ
Развертка	ждущая и периодическая
Диапазон развертки	от 20 Гц до 200 кГц
Нелинейность развертывающего напряжения	не более 1,5—2%
Синхронизация	внутренняя и внешняя
Полярность	+ и —
Потребляемая мощность	не более 5 Вт

Основные узлы прибора и электрические связи между ними показаны на функциональной схеме (рис. 19). Усилитель вертикального отклонения (рис. 20) представляет

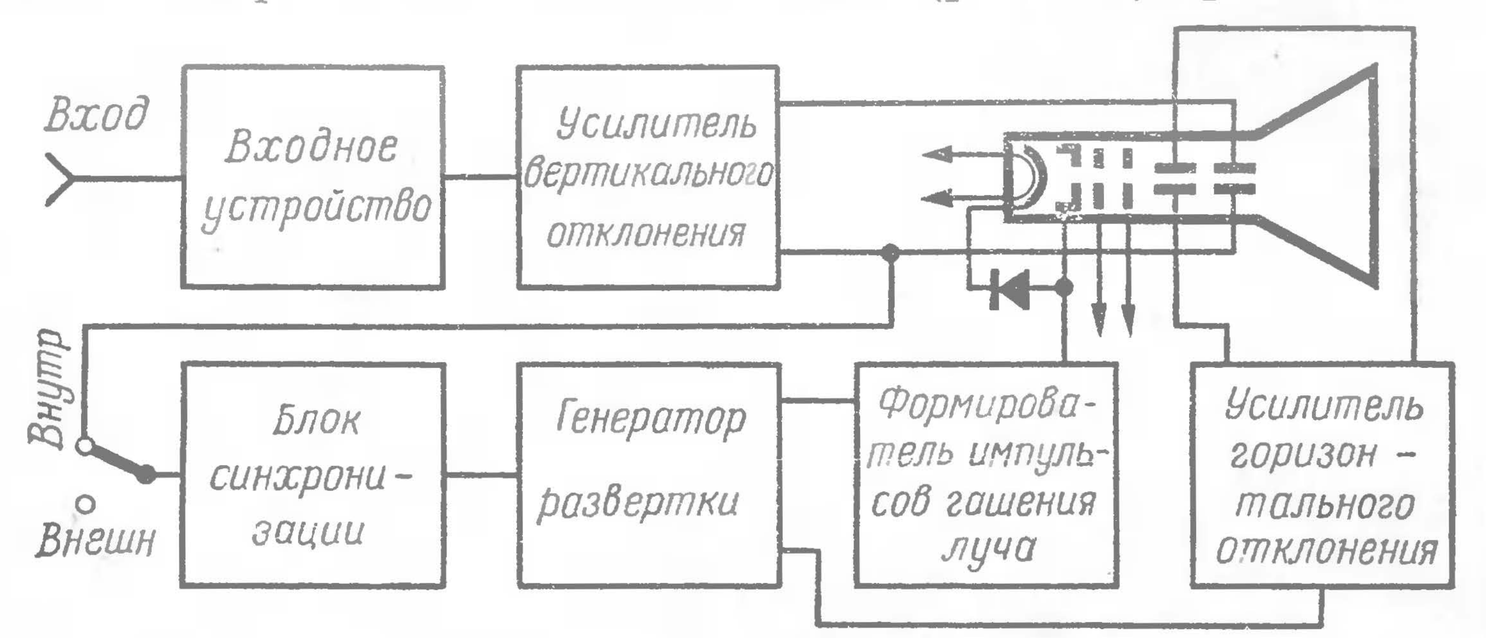


Рис. 19. Функциональная схема осциллографического пробника

собой балансный усилитель, собранный на микросхеме 1ММ6. Исследуемый сигнал подается на вход усилителя через компенсированный делитель напряжения (входной аттенюатор), состоящий из резисторов *R1—R3* и конденсаторов *C2*, *C3*. Аттенюатор соединяется со входным гнездом через конденсатор *C1* или непосредственно (с помощью переключателя *B1*).

Первый каскад усилителя (транзистор *T1*) собран по схеме эмиттерного повторителя для обеспечения большого входного сопротивления и малой емкости. Первый каскад второго плеча (транзистор *T2*) — также эмиттерный повторитель; переменный резистор *R10*, с помощью которого

можно изменять потенциал на базе транзистора, служит для перемещения по вертикали изображения на экране трубки. Применяя переменный резистор *R7*, в цепи базы транзистора *T1* осуществляют балансировку усилителя вертикального отклонения (установка «0»).

Каскад предварительного усиления на транзисторах *T3* и *T4*, собранный по инверсной схеме с эмиттерной связью, преобразует несимметричный входной сигнал в сим-

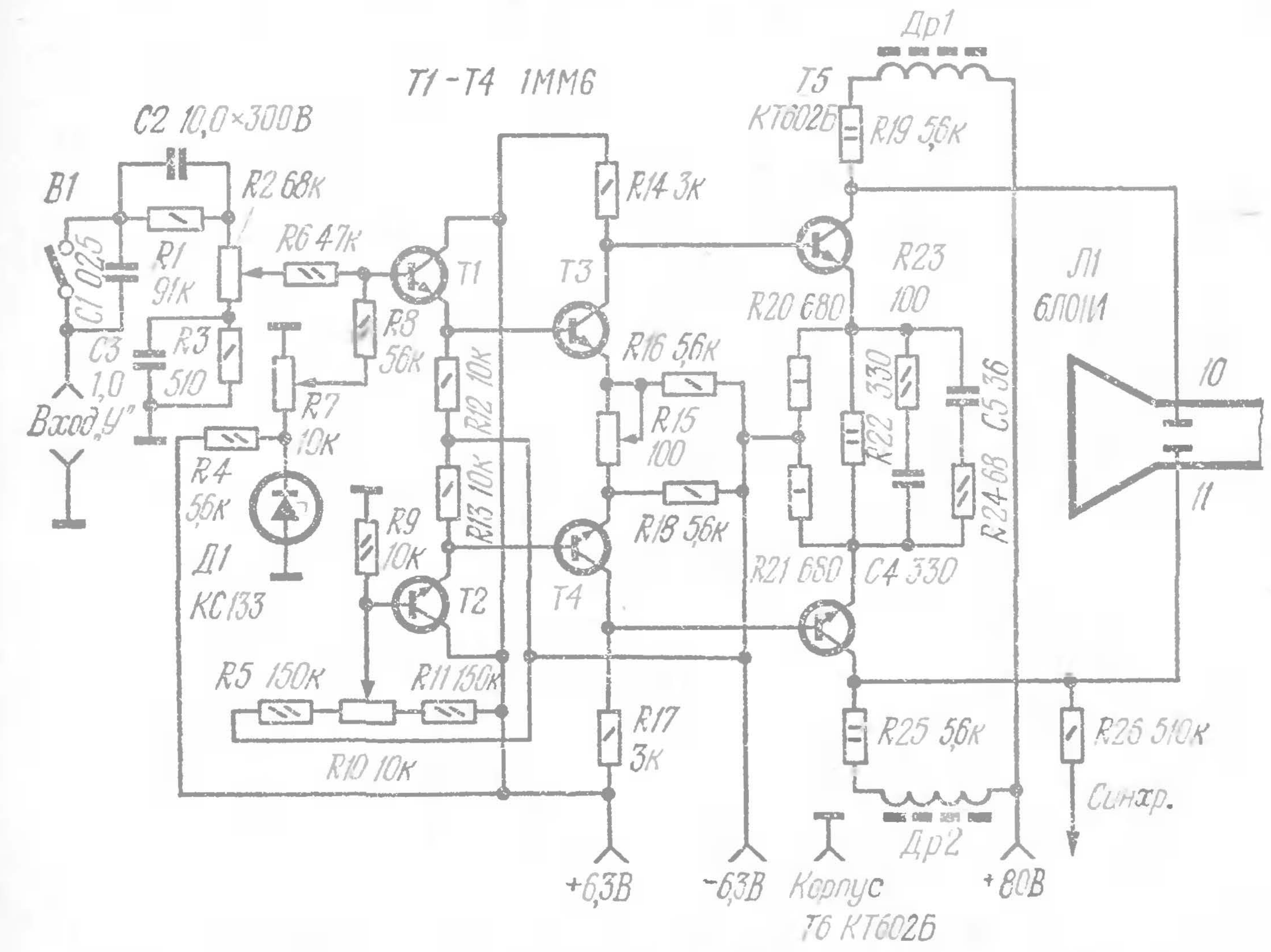


Рис. 20. Схема усилителя вертикального отклонения

метричный. Переменный резистор *R15* предназначен для регулировки усиления при налаживании и калибровке усилителя.

Выходной каскад выполнен на транзисторах *T5* и *T6*. С его нагрузок усиленный исследуемый сигнал подается на вертикально-отклоняющие пластины трубки и на блок синхронизации (через резистор *R26*). Коррекция частотной характеристики в области средних и высших частот осуществляется с помощью обратной связи по току; элементами обратной связи являются резисторы *R23*, *R24* и конденсаторы *C4*, *C5*.

Схема блока синхронизации и генератора развертки приведена на рис. 21. Сигнал синхронизации, которым может быть исследуемый сигнал или сигнал внешнего

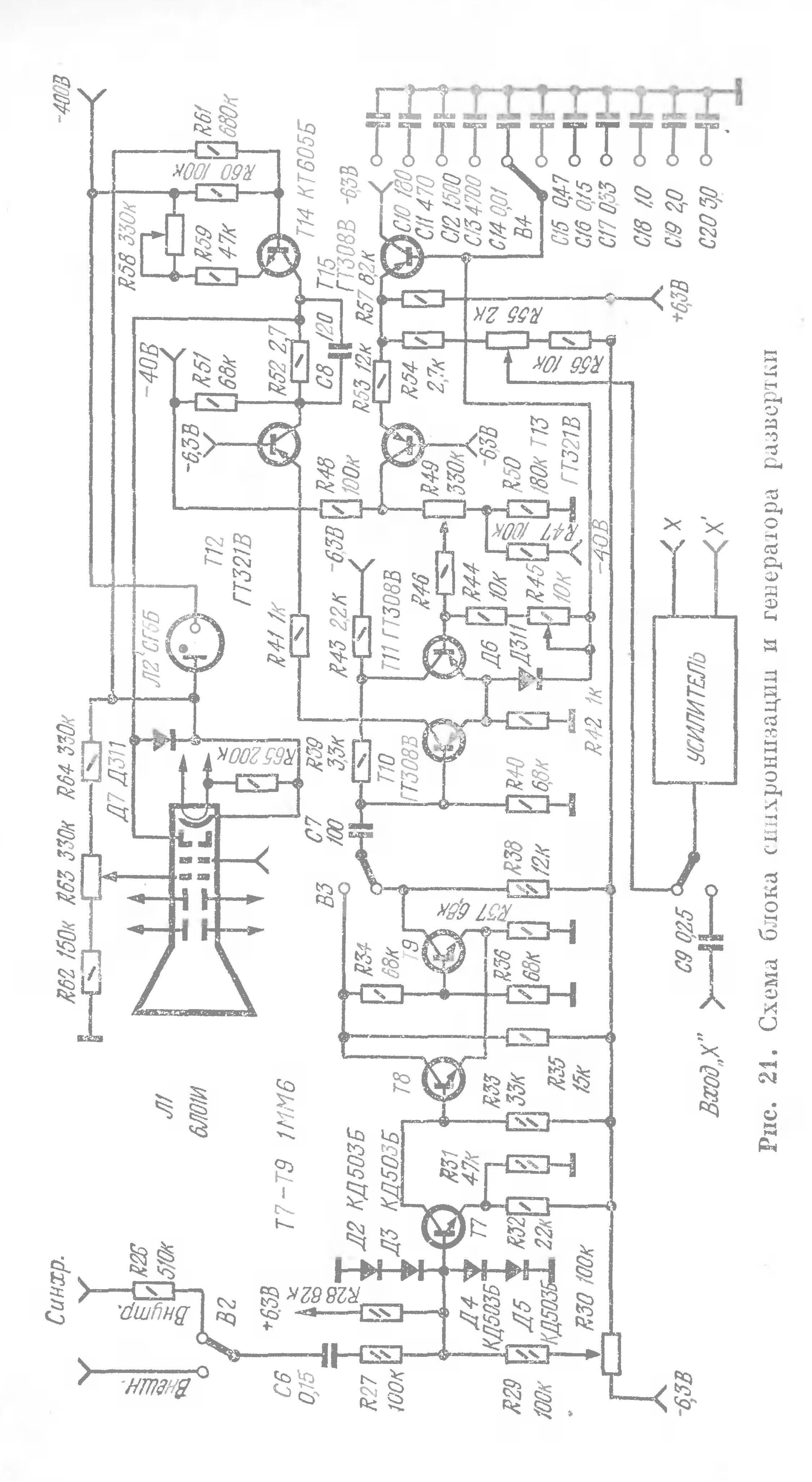


Рис. 21. Схема блока синхронизации и генератора развертки

источника синхронизации (выбор осуществляется переключателем *В2*), подается на каскад усилителя-ограничителя (транзистор *Т7*). Уровень сигнала устанавливается резистором *R30*. Диоды *Д2—Д5* служат для сужения динамического диапазона и предохраняют транзистор от перегрузок.

С коллекторной нагрузки (резистор *R33*) сформированный сигнал поступает на вход дифференциального усилителя (транзисторы *Т8* и *Т9*). В зависимости от полярности входного сигнала импульс синхронизации может сниматься с коллектора либо транзистора *Т8*, либо *Т9* (с помощью переключателя *В3*).

Генератор развертки собран на транзисторах *Т10—Т15* по схеме мультивибратора-интегратора. Генератор вырабатывает пилообразные импульсы высокой линейности и почти постоянной амплитуды в широком диапазоне частот. Работает он следующим образом. В исходном состоянии транзистор *Т10* открыт напряжением, снимаемым с делителя *R39R40*, а транзистор *Т11* закрыт напряжением, создаваемым эмиттерным током *Т10*, протекающим по резистору *R42*. Конденсаторы *С10—С20* — зарядные, выбор конденсатора, а следовательно, и частоты развертки производится переключателем *В4*. Заряд происходит через резисторы *R44—R46* и стабилизирующий транзистор *Т13* от источника тока. Когда напряжение на зарядном конденсаторе превысит по абсолютной величине напряжение на эмиттере транзистора *Т11*, последний открывается, потенциал на базе транзистора *Т10* уменьшается, и этот транзистор закрывается. Разряд конденсатора происходит через диод *Д6* и резистор *R42*. Когда он разрядится, транзистор *Т11* закроется, а транзистор *Т10* откроется, при этом закрывается и диод *Д6*. Далее весь процесс (цикл) работы мультивибратора повторяется.

Переменным резистором *R45* устанавливают режим запуска мультивибратора — автоколебательный или ждущий. Плавная регулировка частоты развертки осуществляется резистором *R49*. Переменный резистор *R55* служит для регулировки выходного напряжения генератора. С него сигнал подается на усилитель горизонтального отклонения, схема которого аналогична схеме усилителя вертикального отклонения (см. рис. 20).

Транзистор *Т12* включен в коллекторную цепь *Т10*. Поэтому когда открыт транзистор *Т10* (прямой ход луча), открыт и транзистор *Т12*, и, наоборот, при обратном ходе

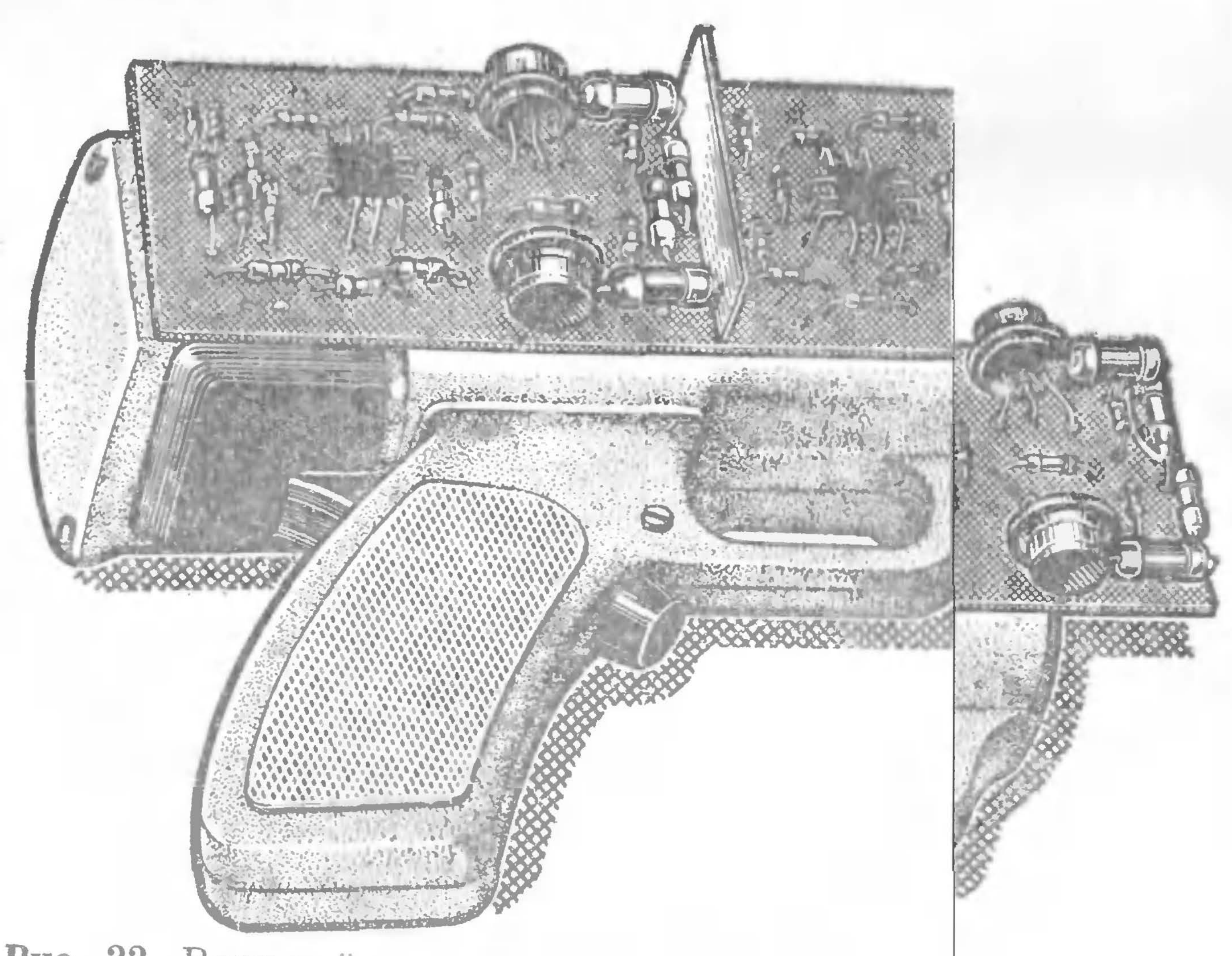


Рис. 22. Внешний вид осциллографа без кожух
платы усилителей

луча оба транзистора закрыты. Отрицател
напряжения, образующийся на резисторе R
денсатор С8 поступает на катод трубки и затир
обратного хода луча. Импульс подсвета луч
его ходе снимается с коллектора Т14 и поступ
тор трубки (в зависимости от состояния тр
изменяется потенциал коллектора Т14, и те
лируется яркость свечения, так как тр
включен в цепь модулятора). Регулировка я
водится резистором R58.

На рис. 22 показан внешний вид прибор
платы усилителей (кожух снят).

Двухканальный коммутатор к осциллогра наблюдать на экране обычного осциллографа
два процесса. Может быть использован как
ным, так и с ламповым осциллографом.

Технические данные

Полоса пропускания	от 10 Гц
Максимальная частота переключения	500 кГц
Амплитуда запускающих импульсов	от 3,5 до
Полярность запускающих импульсов	положите
Минимальная длительность запускающих импульсов	не менее

а со стороны
ьный перепад
51, через кон-
аетее на время
а при прямом
ает на модуля-
нзистора Т13
м самым регу-
нзистор Т14
ркости произ-
а со стороны
фу позволяет
одновременно
с транзистор-
до 3 МГц
9 В
льная
0,1 мкс

Рис. 23. Принципиальная схема электронного коммутатора

Принципиальная схема коммутатора показана на рис. 23. Исследуемые сигналы через входы *I* и *II* поступают соответственно на усилители *T1* и *T2* с общей коллекторной нагрузкой *R4*. Усилители поочередно закрываются управляющими импульсами, благодаря чему на выходе появляются то один, то другой исследуемые сигналы.

Генератор запускающих импульсов представляет собой мультивибратор на транзисторах *T7* и *T8*. Собственная его частота равна 400 Гц, определяется она номиналами времязадающих элементов. Можно выбрать и более высокую частоту переключений, например в 10—20 раз выше частоты исследуемого сигнала. В этом случае изображение исследуемого сигнала на экране — осциллограмма — будет состоять из отдельных коротких черточек.

С мультивибратора (с коллектора *T7*) сигнал поступает на каскад, собранный на транзисторах *T5* и *T6*, служащий для формирования импульсов с крутыми фронтами.

Сигналы, управляющие усилителем, вырабатываются триггером на транзисторах *T3* и *T4*, которые переводятся из одного состояния в другое сигналами, поступающими с формирователя (*T5* и *T6*). С резисторов *R10* и *R17*, являющихся нагрузками транзисторов *T3* и *T4*, на эмиттеры транзисторов *T1* и *T2* подается последовательность импульсов, находящихся в противофазе (что определяется состоянием транзисторов триггера). Эти импульсы поочередно открывают и закрывают транзисторы усилителя *T1* и *T2*. Открытый транзистор шунтирует соответствующий вход, и на выходе коммутатора сигнал с этого входа не появляется.

Переключение триггеров, а следовательно, управление коммутатором может производиться также от постороннего источника импульсов, например от генератора развертки осциллографа. Переключение входа формирователя с мультивибратора на внешний источник импульсов осуществляется переключателем *B1*.

Блок питания измерительных приборов предназначен для питания измерительных приборов и других устройств, выполненных на транзисторах и интегральных микросхемах, стабилизированным напряжением следующих значений:

+6,3	В	при токе нагрузки	0,5	А
—6,3	В	То же	0,5	А
+10	В	»	0,1	А
—10	В	при токе нагрузки	0,5	А
+40	В	То же	0,1	А
—40	В	»	0,1	А
+80	В	»	0,1	А
—80	В	»	0,2	А
+125	В	»	0,1	А
—400	В	»	0,01	А
+1000	В	»	0,001	А
6,3 (частотой 5 кГц)	В	»	0,3	А

В блоке имеется калибратор амплитуды, что позволяет снимать с выхода блока переменное напряжение прямоугольной формы амплитудой от 20 мВ до 20 В. Блок питания рассчитан на работу от сети переменного тока напряжением 220 В или источника постоянного тока напряжением 12 В.

Принципиальная схема показана на рис. 24 и 25. При питании блока от сети переменное напряжение пода-

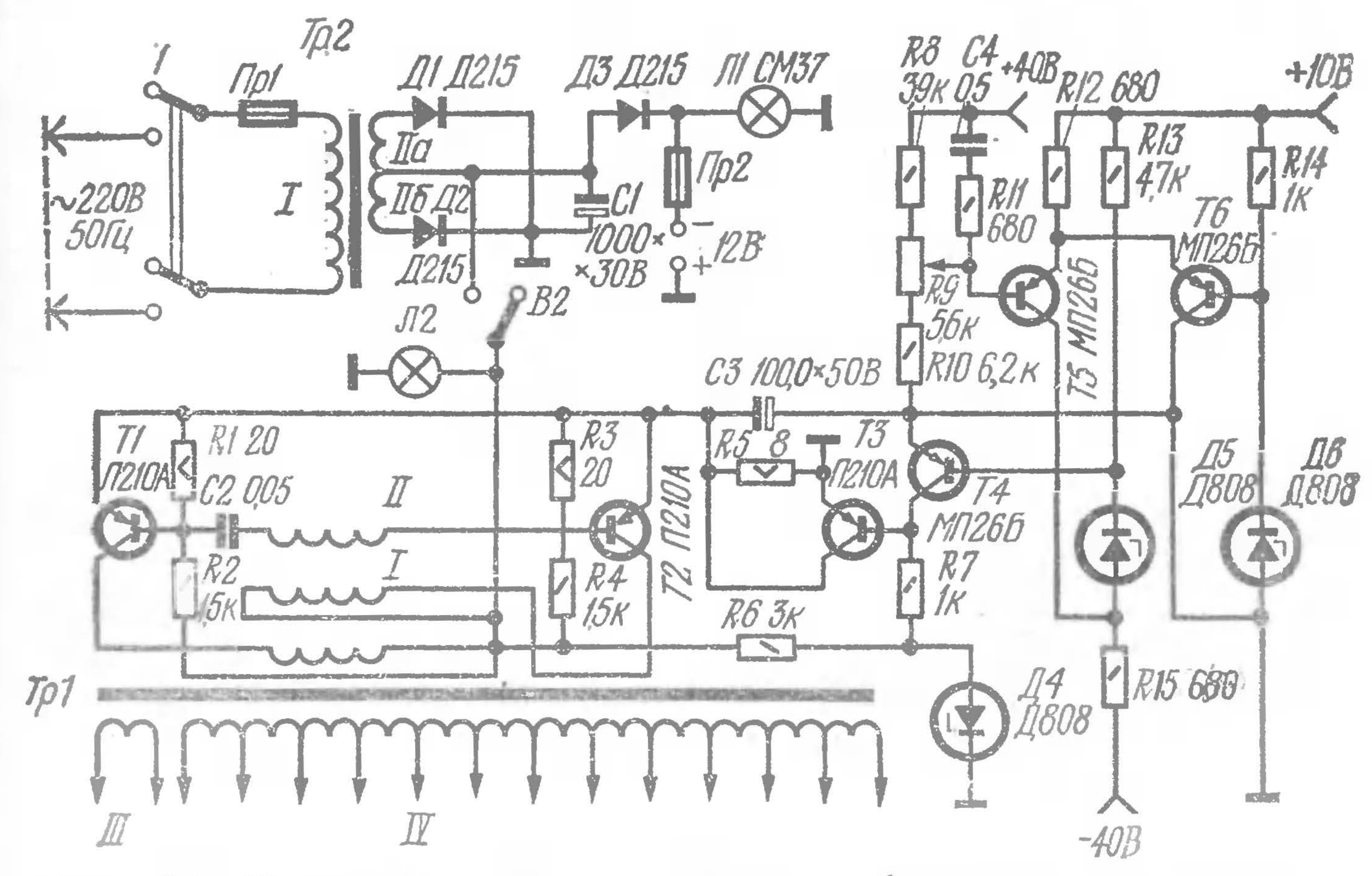


Рис. 24. Принципиальная схема преобразователя напряжения со стабилизатором: сердечник трансформатора *Тр1* — УШ26 × 52, *Тр2* — ПЛ16 × 32 — 40

ется на трансформатор *Тр2*. Ко вторичной обмотке подключен двухполупериодный выпрямитель на диодах *Д1*, *Д2* с конденсатором фильтра *C1*.

Преобразователь выполнен по двухтактной схеме релаксационного автогенератора на транзисторах *T1* и *T2*. Частота генератора примерно 5 кГц, форма импульсов близка к прямоугольной. При питании блока от источника

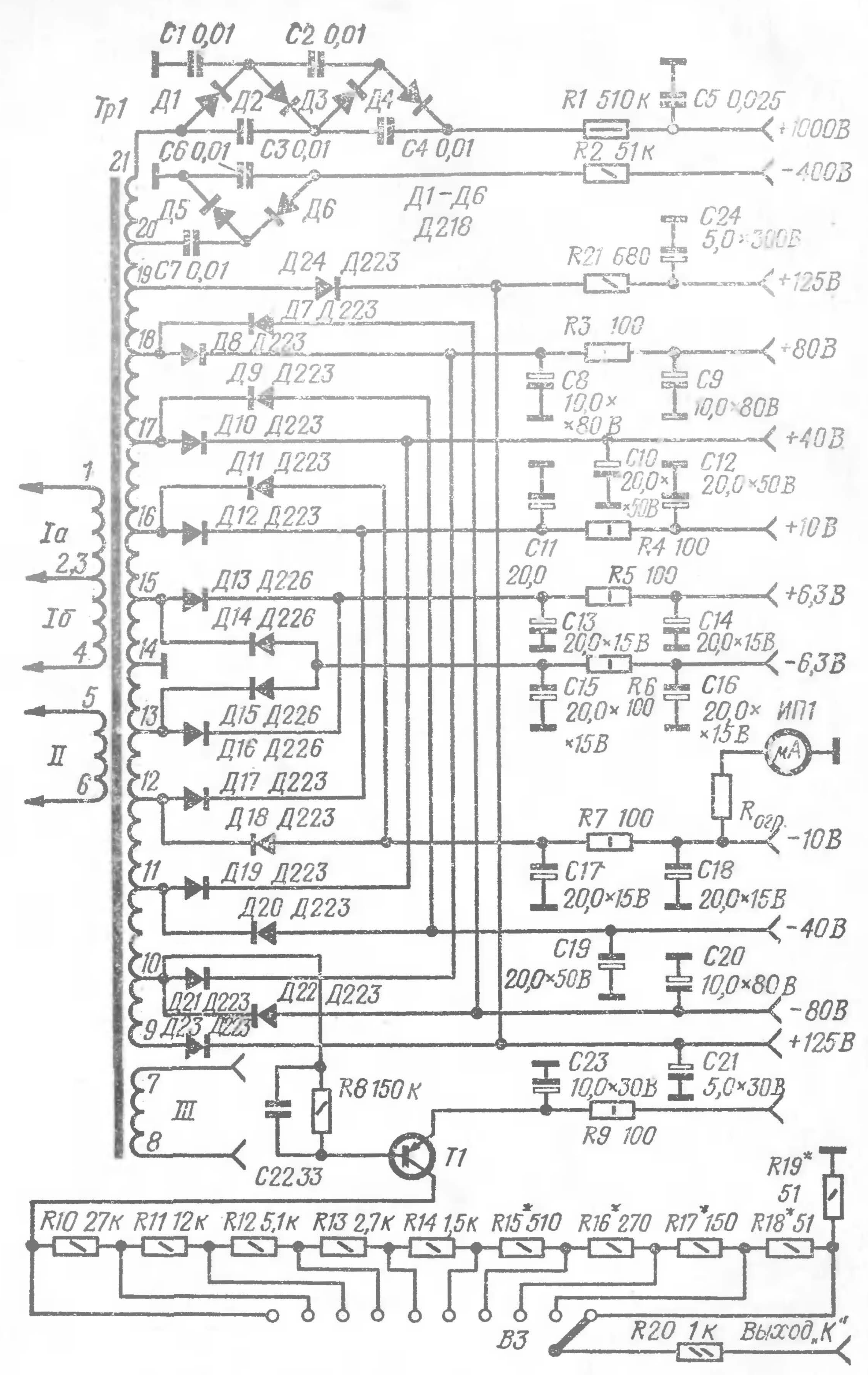


Рис. 25. Принципиальная схема выпрямителя

постоянного тока напряжение —12 В подается непосредственно на вход преобразователя. Диод *Д3* служит для защиты транзисторов *Т1* и *Т2* от пробоя при неправильном включении источника питания.

Со вторичных обмоток трансформатора *Тр1* снимаются стабилизированные напряжения, которые выпрямляются и фильтруются. С обмотки *III* снимается переменное напряжение, которое используется для питания, например нити накала электронно-лучевой трубки осциллографа.

Выпрямители +6,3 и —6,3 В, +10 и —10 В, +40 и —40 В, +80 и —80 В, +125 В выполнены по двухполупериодным схемам; сглаживание выпрямленного напряжения осуществляется *RC* фильтрами. Выпрямитель —400 В собран по схеме удвоения напряжения, а выпрямитель +1000 В — по схеме учетверения напряжения (см. рис. 25).

С одного из выводов обмотки *IV* трансформатора *Тр1* переменное напряжение прямоугольной формы и амплитудой 80 В через цепь *R8C22* подается на усилитель-формирователь на транзисторе *Т1*. С делителя, состоящего из резисторов *R10—R20*, могут быть сняты напряжения 20, 50, 100, 200 и 500 мВ и 1, 2, 5, 10 и 20 В, которые используются для калибровки осциллографа и при настройке других приборов.

Регулирующий каскад стабилизатора (см. рис. 24) собран на транзисторе *Т3*, схема сравнения выполнена на транзисторах *Т5* и *Т6*, транзистор *Т4* является усилителем сигнала рассогласования. Схема сравнения дифференциальная, что позволило получить хорошую компенсацию температурного дрейфа тока базы транзисторов. Источник опорного напряжения выполнен на стабилитроне *Д6* и резисторе *R14*. Включение его в цепь базы уменьшает нестабильность из-за влияния колебаний дифференциального сопротивления стабилитрона.

Стабилитроны *Д4* и *Д5* стабилизируют режим транзистора *Т4*, с сопротивления нагрузки которого (*R7*) снимается усиленное напряжение рассогласования и подается на регулирующий каскад (*Т3*).

Стабилизатор работает следующим образом. При увеличении напряжения на выходе трансформатора *Тр1* возникающее напряжение рассогласования между источником опорного напряжения и частью выходного напряжения +40 В, снимаемого с делителя *R8—R10*, усиливается и начинает закрывать транзистор *Т5*.

Увеличение потенциала на коллекторе транзистора *Т5* приводит к насыщению транзистора *Т4*. При этом потенциал коллектора *Т4* и, следовательно, базы *Т3* становится близким к нулю и транзистор *Т3* закрывается.

В результате общее сопротивление нагрузки генератора (*Т1* и *Т2*) возрастает и напряжение смещения, падающее на ней, также увеличивается. Это приводит к снижению потенциала на коллекторах *Т1* и *Т2* и некоторому росту частоты генерации.

При уменьшении напряжения на выходе трансформатора *Тр1* процесс происходит в обратном порядке.

На передней плате блока питания размещают контрольный вольтметр *ИП1*, тумблер *В2*, клеммы +10 и —10 В (эти напряжения используются особенно часто), переключатель *В3* калибратора и его выходные клеммы, а также сигнальные лампы *Л1* (включение источника постоянного тока) и *Л2* (включение блока). Колодки для снятия остальных напряжений, предохранители *Пр1* и *Пр2* и тумблер *В1* устанавливают на задней стенке.

СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СВЕТОДИОДЫ И СВЕТОДИОДНЫЕ МАТРИЦЫ

А. Михайлов *(Москва)*

Полупроводниковые светодиоды — новые электронные приборы, служащие для непосредственного превращения электрической энергии в световую. Светодиоды находят широкое применение в аппаратуре связи, электронной вычислительной технике, в приборах автоматики и телеуправления, в световых информационных устройствах, различных индикаторах и пр. Применение светодиодов дало возможность по-новому решать многие вопросы конструирования электронных приборов.

Небольшие размеры, высокая экономичность и надежность, возможность полной электрической развязки входа или отдельных каскадов, быстродействие — все эти качества светодиодов позволили создавать совершенно новые электронные приборы, обладающие лучшими качествами по сравнению с аппаратурой на обычных элементах.

Применение светодиодов открыло еще одно направление в радиоэлектронике — оптоэлектронику. В основе оптоэлектроники лежит процесс непосредственного преобразования электрической энергии в световую и световых сигналов — в электрические. Благодаря созданию светодиодов появилась новая возможность в передаче информации, ее хранения и обработки посредством луча света.

Основными элементами оптоэлектронных устройств являются управляемые полупроводниковые излучатели, световоды и фотоприемники.

Светодиод — один из главных элементов оптоэлектронных устройств. Это полупроводниковый прибор, обладающий свойством создавать некогерентное оптическое излучение определенного спектрального состава при прохождении через светодиод прямого тока. В основе принципа действия полупроводниковых светодиодов лежат два явления: инжекция неосновных носителей через электронно-дырочный переход при прямом напряжении на нем и излучение света при рекомбинации пар электрон-дырка.

Этим свойством обладают некоторые сложные полупроводниковые материалы, основой которых служит карбид кремния (SiC), галлий (Ga) и мышьяк (As).

В настоящее время разработан ряд материалов, создающих излучение в инфракрасной, ультрафиолетовой и видимой частях спектра. Наибольшее распространение получили светодиоды, излучающие желтый, красный и зеленый свет.

Свойства и эффективность работы светодиодов характеризуются совокупностью электрических, световых и эксплуатационных параметров. Важнейшие из них — мощность или яркость излучения, эффективность преобразования электрической энергии в световую и наоборот, вольт-амперные, спектральные, динамические характеристики, пространственное излучение.

Существуют три основных направления использования светодиодов: световой индикатор, источник излучения в оптоэлектронных парах и источник светового излучения для фиксации на светочувствительном материале.

Твердотельные цифровые индикаторы представляют собой комбинацию определенного числа светодиодов с общим анодом. Светодиоды расположены таким образом, что при подаче напряжения на соответствующие выводы высвечиваются цифры от 0 до 9. Один индикатор, содержащий 7 диодов прямоугольной формы, способен высвечивать все цифры и некоторые буквы.

Индикатор, содержащий 16 диодов, позволяет воспроизводить неограниченное число знаков.

Полупроводниковые цифровые индикаторы целесообразно применять в малогабаритной аппаратуре, устройствах вывода цифровой информации из вычислительных машин, системах контроля, цифровых измерительных приборах.

СВЕТОДИОДЫ

Условные обозначения и определение электрических параметров светодиодов

$U_{пр}$ — постоянное прямое напряжение при максимально допустимом токе;

$I_{пр. макс}$ — максимально допустимый прямой ток;

B — яркость свечения диода при максимально допустимом прямом токе;

$P_{полн}$ — полная мощность излучения при прямом постоянном токе определенной величины;

Θ — ширина диаграммы направленности светового излучения на уровне 0,5.

Кроме этих основных параметров, иногда указывают длительность переднего и заднего фронтов светового импульса, пределы рабочей температуры, возможное положение оптической оси, максимальное значение обратного напряжения и характеристику направленности светового излучения.

Светодиоды КЛ101А — КЛ101В

Карбидокремниевые диффузионные светодиоды КЛ101А—КЛ101В предназначены для работы в аппаратуре широкого применения в качестве источника видимого света. Цвет свечения — желтый.

Прибор оформлен в пластмассовом корпусе с плоскими гибкими лужеными выводами; линза — стеклянная. Внешний вид и размеры светодиода показаны на рис. 1. Масса прибора не более 0,05 г.

Основные электрические параметры при $t_{окр. ср} = 25 \pm 10°$ С

Яркость свечения светодиода при максимально допустимом прямом постоянном токе, В, кд/м², не более:

для КЛ101А	10
» КЛ101Б	15
» КЛ101В	20

Постоянное прямое напряжение при максимально допустимом прямом постоянном токе, $U_{пр}$, В, не более 5,5.

Максимально допустимый постоянный ток, $I_{пр. макс}$, мА:

для КЛ101А	10
» КЛ101Б	20
» КЛ101В	40

При использовании светодиодов КЛ101А—КЛ101В необходимо помнить, что эти приборы имеют значительный

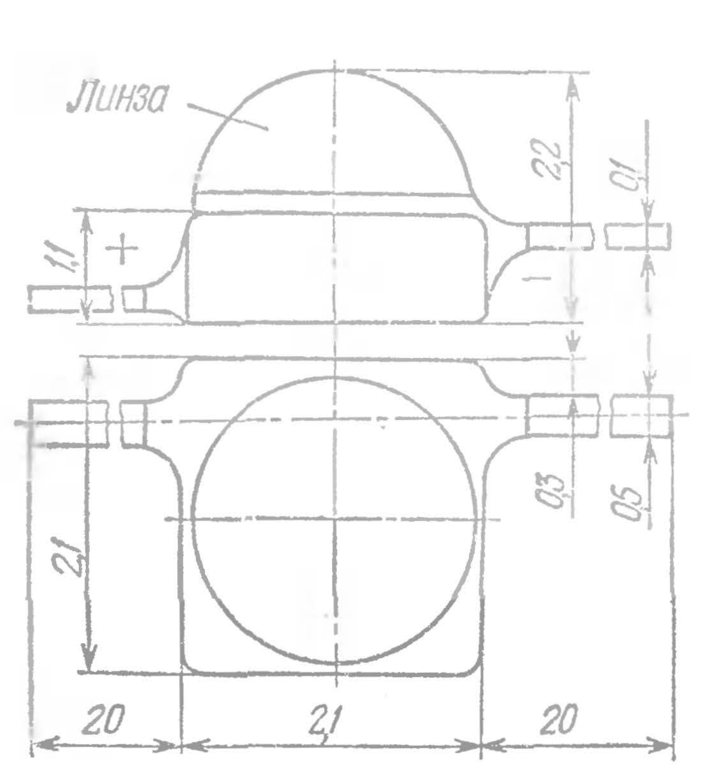


Рис. 1. Габариты светодиода КЛ101

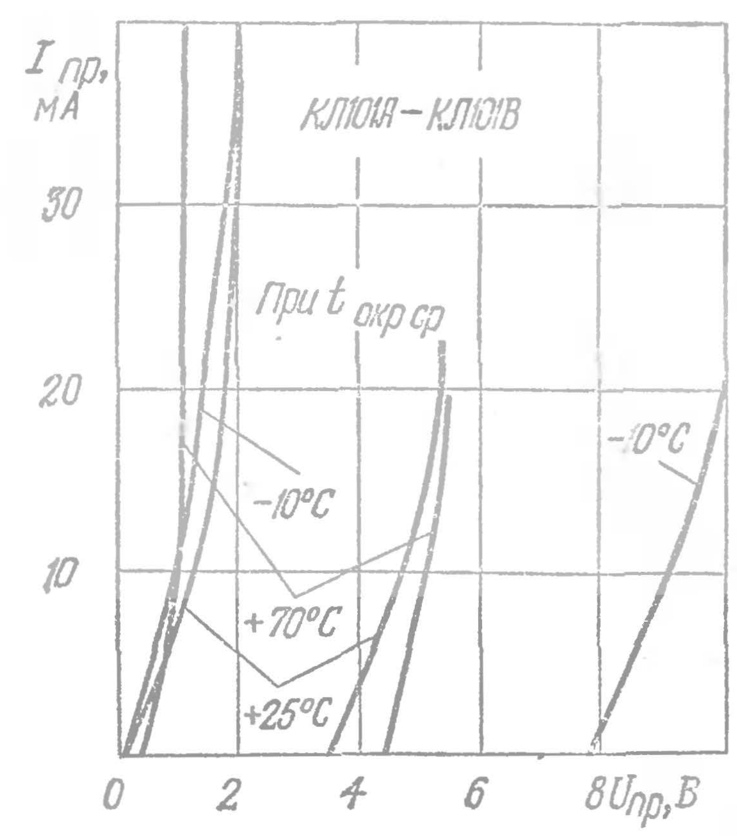


Рис. 2. Граничные положения прямой ветви вольтамперной характеристики при различной температуре

разброс характеристик от экземпляра к экземпляру и сильную температурную зависимость положения прямой ветви вольтамперной характеристики. На рис. 2 показаны граничные положения прямой ветви этой характеристики приборов при различной температуре окружающей среды.

Рис. 3. Типовая характеристика направленности светового излучения светодиодов КЛ101

Интенсивность излучения КЛ101А–КЛ101В

Подача на диод обратного постоянного напряжения не рекомендуется. Выбросы обратного напряжения не должны превышать 3 В.

Яркость излучения светодиодов также сильно зависит от температуры. Положение максимума яркости у различных экземпляров может находиться в пределах от −10 до +70° С. При импульсном (пульсирующем) прямом токе яркость излуче-

ния приборов не зависит от частоты следования импульсов до некоторого ее значения — для 95% приборов это значение равно примерно $2 \cdot 10^4$ Гц. На рис. 3 — характеристика направленности светового излучения светодиодов КЛ101А—КЛ101В, определяемая формой линзы.

Светодиоды АЛ102А — АЛ102Г

Эпитаксиальные фосфидогаллиевые световые диоды АЛ102А—АЛ102Г предназначены для работы в радиоэлектронной аппаратуре широкого применения. Прибор — в металлическом корпусе с проволочными гибкими лужеными выводами; линза — стеклянная.

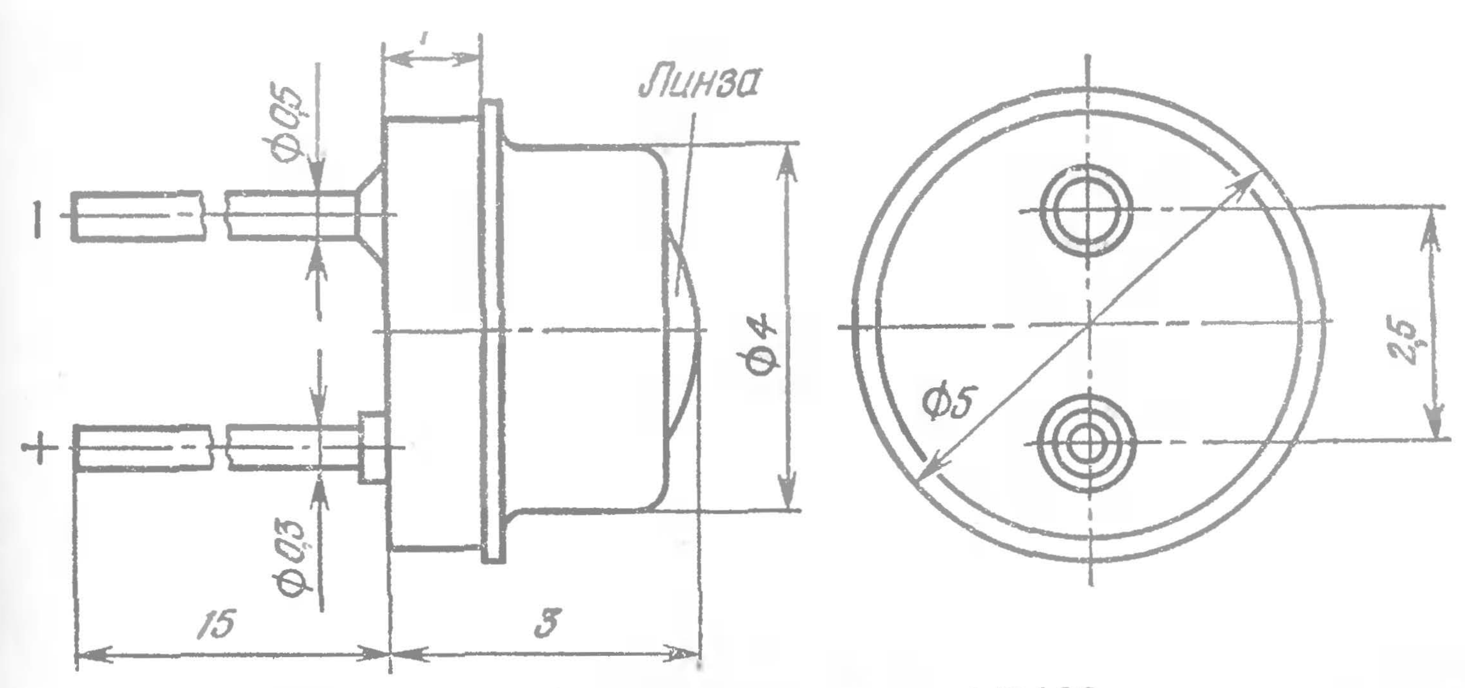


Рис. 4. Габариты светодиода АЛ102

Вид и размеры корпуса — на рис. 4. Масса прибора не более 0,25 г. По электрическим параметрам (при $t_{окр.ср} = 25 \pm 10°$ С) светодиоды классифицируются согласно табл. 1.

Таблица 1

Диоды	Прямой ток $I_{пр}$, мА	Яркость при прямом токе $I_{пр}$, В, кд/м², не менее	Цвет свечения
АЛ102А	5	5	Красный
АЛ102Б	20	40	»
АЛ102В	30	50	Зеленый
АЛ102Г	20	10	Красный

Основные электрические параметры при $t_{окр.ср} = 25 \pm 10°$ C

Прямое напряжение, $U_{пр}$, *В*, не более, для:
АЛ102А (при $I_{пр}$ = 5 мА) 3,2
АЛ102Б, АЛ102Г (при $I_{пр}$ = 20 мА) 4,5
АЛ102 В (при $I_{пр}$ = 30 мА) 5

Предельно допустимые режимы светодиодов

Максимально допустимый прямой ток (при $t_{окр.ср}$ в интервале 50—70° С), $I_{пр. макс}$, мА, для:
АЛ102А, 10
АЛ102Б, АЛ102Г 20
АЛ102В 30
Максимально допустимая температура окружающей среды, $t_{окр.ср.макс}$, °С +70
Минимально допустимая температура окружающей среды, $t_{окр.ср. мин}$, °С −60
Максимально допустимая амплитуда обратного напряжения (для АЛ102А — АЛ102В), $U_{обр.макс}$, В 6
Примечание. Для светодиода АЛ102Г максимально допустимая амплитуда обратного напряжения не нормируется.

Светодиоды АЛ106А — АЛ106В

Арсенидогаллиевые мезадиффузионные светодиоды АЛ106А—АЛ106В предназначены для работы в радиоэлектронной аппаратуре широкого применения в качестве источников инфракрасного излучения.

Прибор оформлен в металлическом корпусе с проволочными гибкими лужеными выводами. Линза — стеклянная. Внешний вид и размеры корпуса показаны на рис. 5. Масса прибора 0,5 г.

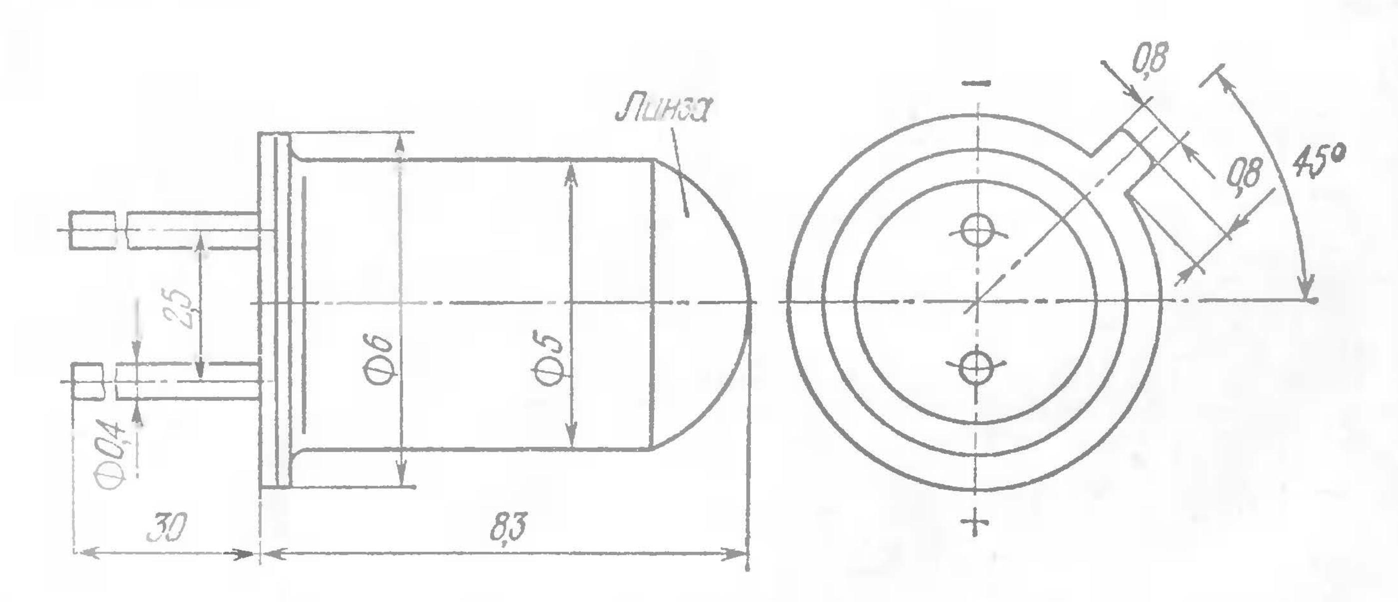


Рис. 5. Габариты светодиода АЛ106

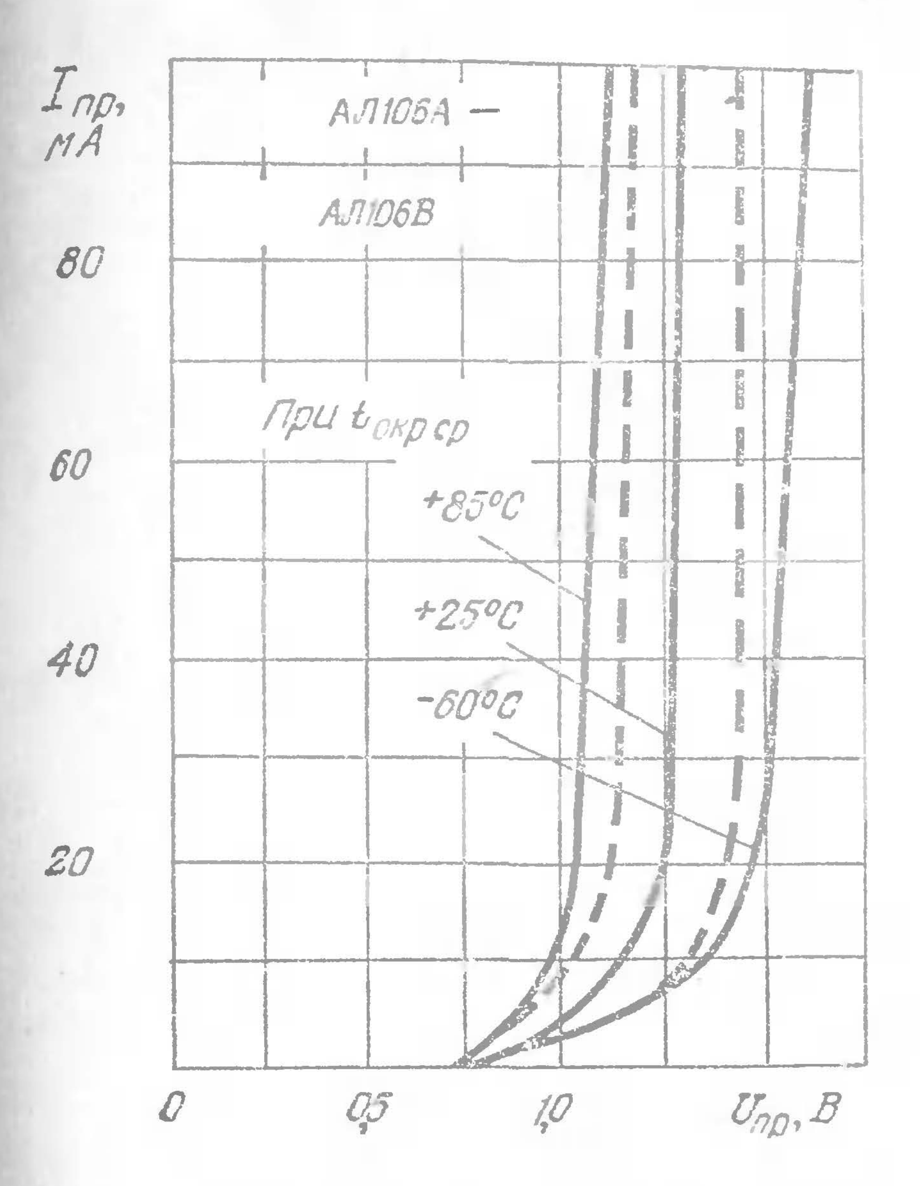


Рис. 6. Прямые ветви вольтамперных характеристик при различных температурах (сплошные линии). Пунктиром показаны граничные положения вольтамперной характеристики для $t_{окр.ср} = +25°$ С

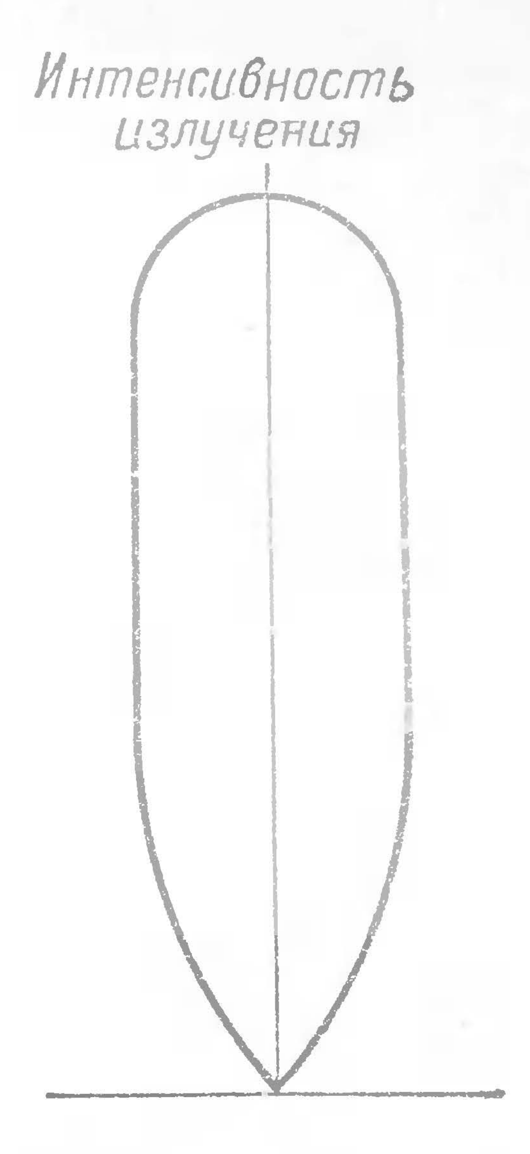


Рис. 7. Типовая характеристика направленности светового излучения светодиода АЛ106

Светодиоды классифицируются на типы по мощности излучения. Полная мощность излучения (при постоянном прямом токе $I_{пр}$ = 100 мА) $P_{полн}$ у светодиода АЛ106А равна 0,2 мВт, у АЛ106Б — 0,4 мВт, у АЛ106В — 0,6 мВт.

Электрические параметры при $t_{окр.ср} = 25 \pm 10°$ С

Быстродействие:
а) длительность переднего фронта светового импульса, τ_f, нс 10
б) длительность заднего фронта светового импульса, $\tau_ч$, нс 20
Постоянное прямое напряжение (при $I_{пр}$ = 100 мА), $U_{пр}$, В, не более 1,7
Ширина диаграммы направленности излучения (на уровне 0,5), θ, град 25

Предельно допустимые режимы

Максимальный постоянный прямой ток (при $t_{окр.ср} = 25 \pm 10°$ С), $I_{пр.макс.}$, мА	120
Максимальный постоянный ток при $t_{окр.ср} = 85 \pm 2°$ С и $t_{окр.ср} = -60 \pm 2°$ С	100
Максимальная температура окружающей среды, $t_{окр.ср.макс}$, °С	+85
Минимальная температура окружающей среды, $t_{окр.ср.мин}$, °С	—60

Характеристики светодиодов имеют значительный разброс от экземпляра к экземпляру и сильную температурную зависимость. На рис. 6 сплошными линиями показаны прямые ветви вольтамперной характеристики при температурах окружающей среды: —60, +25 и +85° С; штриховыми — крайние возможные положения прямой ветви характеристики (для 95% приборов) при температуре 25° С. Обратное напряжение с амплитудой более 4 В на светодиод подавать не рекомендуется.

Типовая диаграмма направленности излучения светодиодов серии АЛ106 представлена на рис. 7. Максимальная ширина диаграммы лежит в пределах телесного угла 20°, а возможные положения оптической оси для 95% приборов — в пределах телесного угла 10°.

Светодиодные индикаторы КЛ104А

Карбидокремниевый цифровой индикатор КЛ104А изготовлен по твердотельной технологии и предназначен для визуальной индикации в аппаратуре широкого применения. Индикатор содержит семь элементов и способен высвечивать любую из цифр от 0 до 9. Цвет свечения — желтый.

Индикатор оформлен в металлическом корпусе, снабженном девятью штыревыми ножками для подключения питающих напряжений. Тип цоколя индикатора — РШ8 ГОСТ 7842-71. Линза — стеклянная.

Внешний вид, основные размеры и цоколевка индикатора показаны на рис. 8. Масса прибора не более 7 г.

Максимальный угол (относительно оптической оси), при котором возможно неискаженное считывание показаний индикатора, равен 60°.

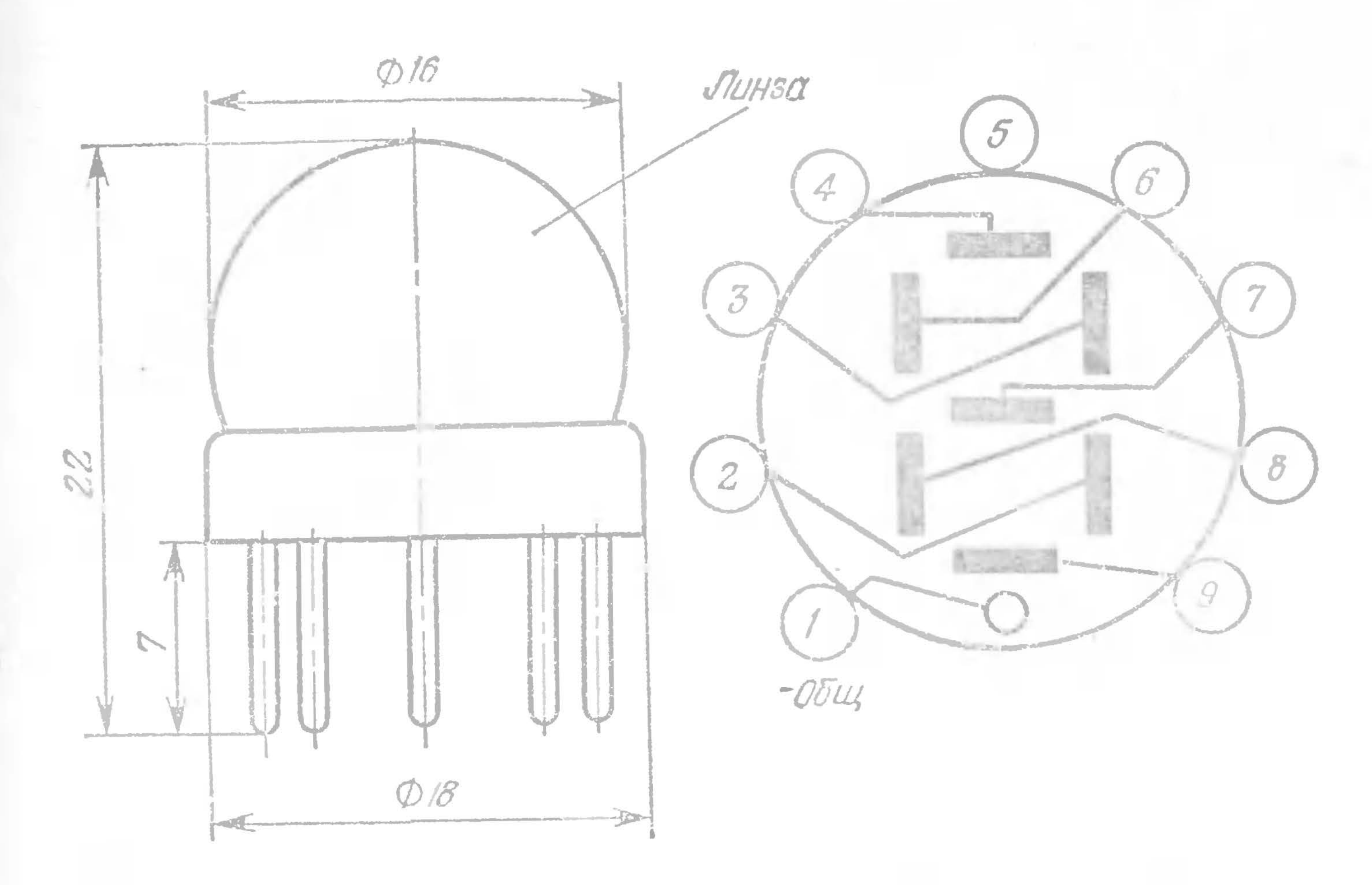


Рис. 8. Габариты и цоколевка светодиодного индикатора КЛ104

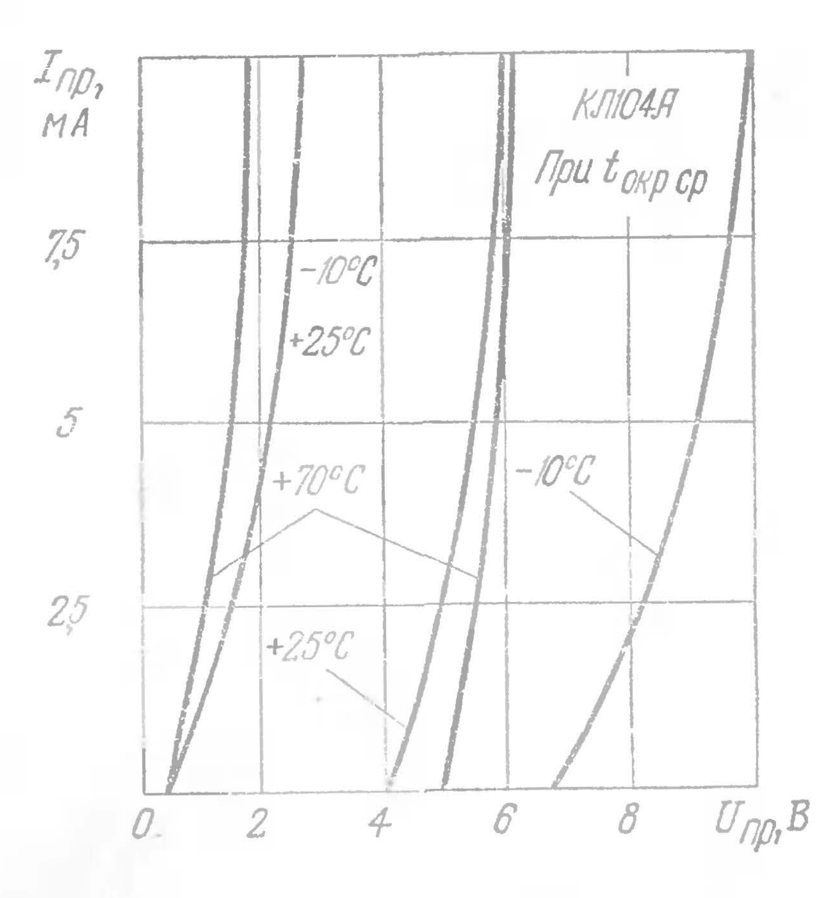


Рис. 9. Предельные положения вольтамперной характеристики светодиодного индикатора КЛ104

Индикаторы нормально работают при температуре от —10 до +70° С. Приборы имеют значительный разброс характеристик и сильную температурную зависимость параметров. На рис. 9 показаны предельные положения прямой ветви вольтамперной характеристики (для 95% приборов) при различной температуре окружающей среды.

Основные электрические параметры (при $t_{окр.ср} = 25 \pm 10°$ С) и предельно допустимые режимы

Яркость при постоянном прямом токе через элемент ($I_{пр.э} = 10$ мА), кд/м²	15

Постоянное прямое напряжение на элементе ($I_{пр.э} = 10$ мА), $U_{пр.э}$, В 6

Максимальный прямой ток через элемент $I_{пр.макс}$, мА при:

$t_{окр.ср}$	25±10° С	15
»	−10° С	10
»	от 35 до 70° С	10

Максимальное постоянное обратное напряжение, $U_{обр.макс}$, В 10

СОДЕРЖАНИЕ

В СТК ДОСААФ

РАДИОЛЮБИТЕЛЮ-КОНСТРУКТОРУ

ЛАБОРАТОРИЯ РАДИОЛЮБИТЕЛЯ

СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ